Das Buch der Chemie

Errungenschaften der Naturerkenntnis

VON HANS DOMINIK

BONGS
JUGEND-
BÜCHEREI

DIESES BUCH GEHÖRT:

Das Buch der Chemie:

Errungenschaften der Naturerkenntnis

Von

Hans Dominik

Mit 150 Abbildungen nach Originalzeichnungen, zahlreichen Tabellen und Photographien

BONGS JUGEND-BÜCHEREI

VERLAG VON RICH. BONG IN BERLIN

Aber wir dürfen nicht vergessen, daß die reiche Ernte, welche die chemische Industrie heute in ihre Scheuern bringt, die Frucht einer Saat ist, die in Form der Strukturtheorie schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ausgestreut wurde. Damals schuf besonders Kekulé die Grundlagen für unsere Erkenntnis vom Aufbau und von der Struktur der Moleküle. Was damals zunächst reine Wissenschaft und im günstigsten Falle Laboratoriumspraxis war, ist heute die treibende Kraft einer gewaltigen Industrie, die Hunderttausenden Brot gibt und jährlich Milliardenwerte schafft. Nebenher aber laufen neue Entdeckungen von unerhörter Tragweite, die uns einen Blick bis in das Innerste der Natur gestatten. Kekulé nahm die Atome als die letzten, einer weiteren Erkenntnis und Ergründung nicht mehr zugänglichen Dinge der Natur und baute aus ihnen die Moleküle auf. Heute aber sind wir dabei, auch die Atome zu ergründen. Schon sind sie nach der genialen Theorie des Dänen Niels Bohr als winzige Weltsysteme erkannt, in denen die Atome der negativen Elektrizität, die Elektronen, als Planeten auf Keplerschen Ellipsen um positive elektrische Ladungen wie um eine Zentralsonne kreisen. Schon hat man auf Grund dieser Theorie den Atombau der einfachsten Elemente, des Wasserstoffes und des Heliums, erkannt, hat die Erscheinungen der radioaktiven Substanzen in wunderbarer Weise mit dieser Theorie in Einklang gebracht.

Die Ultrastrukturchemie wird uns eines Tages die Verwirklichung des alten Alchimistentraumes bringen, die Umwandlung irgendeines Elementes in ein anderes. Und

dabei werden die Entdeckungen der physikalischen Chemie dazu helfen, daß hier nicht nur begehrte Stoffe aus weniger begehrten in beliebigen Mengen erstellt werden. Es wird vielmehr dabei auch noch eine Energiequelle erschlossen werden, deren theoretische Größe wir heute bereits genau kennen, und die millionenfach, ja billionenfach größer ist als die Energie der Brennstoffe, auf der unsere ganze heutige Technik und Zivilisation beruhen. An die Stelle der molekularen Energie, die wir heute in unseren Wärmekraftmaschinen auf dem Umwege über Verbrennungsvorgänge nutzbar machen, wird die unendlich viel größere Atomenergie treten, die uns die Ultrastrukturchemie erschließen soll.

Heute sind wir hier noch beim Säen. Noch sind die reinen Wissenschaftler an der Arbeit, der Natur die letzten Geheimnisse zu entreißen. Doch schon heute können wir uns ein ungefähres Bild von den praktischen Folgen machen, die diese theoretische Erkenntnis einmal haben muß. Hier aber eröffnen sich Zukunftsaussichten von einer märchenhaften Schönheit. Ein Zeitalter scheint uns zu winken, welches sich zu unserer heutigen Zeit der Technik und Zivilisation ungefähr verhalten dürfte, wie sich unsere Zeit zu der Epoche der Steinkultur oder der Bronzetechnik verhält. Schon heute haben wir die sichere Gewißheit, daß es bestimmt keinen Stillstand in unserer Entwicklung geben wird, daß vielmehr auf Neues und Großes immer noch Neueres und Größeres folgen muß und wird.

Neben den wirtschaftlichen und praktischen Leistungen der chemischen Industrie unserer Tage behandelt das vorliegende Buch daher auch diese theoretischen Arbeiten, die

heute in der Hauptsache nur wissenschaftliches Interesse haben, die sich aber zweifellos im Leben unserer Kinder und Kindeskinder auch in gewaltigster Weise praktisch auswirken werden. Das Buch will dem, der sich für diese Dinge interessiert, die Kenntnis davon möglichst leicht und angenehm übermitteln. Wer tiefer in die eigentliche chemische Wissenschaft eindringen will, wird daneben die Lektüre anderer chemischer Werke und zum mindesten diejenige eines guten Schulbuches für Chemie nicht missen können. Diesen Werken will das vorliegende Buch keine Konkurrenz machen. Wollte es bringen, was diese Bücher bringen und bringen müssen, so wäre kein Raum für die Ausführungen geblieben, die hier gemacht werden. Aber der Leser, der den Ausführungen des vorliegenden Buches gefolgt ist, wird vielleicht danach aus freiem Entschlusse zu umfangreicheren Werken greifen, um sich noch genauer über die Dinge zu informieren, die hier vorgetragen wurden.

Berlin-Zehlendorf.

Der Herausgeber.

Das Arbeitsgebiet der Chemie

Die Chemie beſchäftigt ſich mit den weſentlichen Veränderungen der Materie, d. h. mit ſolchen Veränderungen, die in das Weſen des Stoffes ſelbſt eingreifen. Ein einfaches Beiſpiel mag dies erklären: Wenn man feine Eiſenfeilſpäne und Schwefelblüte gut durcheinandermiſcht, ſo erhält man eine phyſikaliſche Miſchung dieſer beiden Stoffe, aber keine weſentliche Veränderung derſelben (Fig. 1). Mit einem Magneten kann man ohne Schwierigkeit die Eiſenfeilſpäne wieder aus dem Gemenge unverändert herausholen (Fig. 2). Auch mit Hilfe des Waſſers laſſen ſich die Beſtandteile gut trennen, da die ſchwereren Eiſenſpäne darin zu Boden ſinken, die leichte Schwefelblüte dagegen auf der Oberfläche ſchwimmt. Nun führen wir den Verſuch aber weiter, indem wir an eine trockene Miſchung von Schwefelblüte und Eiſenfeilſpänen ein brennendes Streichholz halten (Fig. 3). Die ganze Maſſe beginnt dann plötzlich zu erglühen, und nachdem die Glut verſchwunden iſt, haben wir anſtatt des früheren lockeren Gemenges, in dem man wenigſtens mit der Lupe noch deutlich die Eiſen- und Schwefelteilchen unterſcheiden konnte, einen ſchwarzen, in allen ſeinen Teilen vollkommen gleichartigen Körper, der weder mit dem Schwefel noch mit dem Eiſen irgendwelche Ähnlichkeit beſitzt.

Was hier vorging, war eine chemiſche Reaktion. Das Eiſen hat ſich mit dem Schwefel zu einem neuen Stoff, dem Schwefeleiſen, verbunden. Durch keines der bekannten

physikalischen Mittel, wie Wärme, Druck, Magnetismus oder dergleichen, können wir diesen neuen Stoff wieder in seine Bestandteile zurückverwandeln, aus denen er sich vor unseren Augen bildete. Die Aufgabe der Chemie ist es nun, alle solche Vorgänge, bei denen die Materie wesentliche Veränderungen erfährt, zu verfolgen, zu ergründen und zu erklären. Da uns die Natur nicht Tausende, sondern Hunderttausende verschiedener Stoffarten oder Substanzen darbietet, so erscheint das Arbeitsgebiet der Chemie auf den ersten Blick unübersehbar groß. Aber es gelingt verhältnismäßig schnell, Übersicht und System in die Flut der Erscheinungen zu bringen.

Die erste Aufgabe des Chemikers gegenüber irgendeinem ihm dargebotenen unbekannten Stoffe wird immer darin bestehen müssen, diesen Stoff in seine Bestandteile zu zerlegen, die Zusammensetzung des Stoffes zu analysieren. Diese Aufgabe fällt in das Gebiet der auflösenden oder analytischen Chemie. Die Analyse kann entweder nur qualitativ oder auch quantitativ sein. Im ersteren Falle würde ein Chemiker, dem der bei unserem ersten Versuche entstandene Stoff zur Untersuchung gegeben wird, nur anzugeben haben, daß der Stoff aus Eisen und aus Schwefel besteht. Im zweiten Falle der quantitativen Analyse hätte er auch die Quantitäten anzugeben, hätte zu sagen, daß je 88 Gramm des untersuchten Stoffes aus 56 Gramm Eisen und 32 Gramm Schwefel bestehen. In dem vorliegenden Falle des Schwefeleisens ist durch eine solche quantitative Analyse die Aufgabe vollkommen gelöst, der zu untersuchende Stoff vollkommen genau bestimmt. Wir

werden aber im weiteren Verlaufe unſerer Betrachtungen ſehen, daß dies nicht immer der Fall iſt. Bei ſehr vielen komplizierter zuſammengeſetzten Körpern kommt es nicht nur auf die Mengen der einzelnen Stoffe an, ſondern auch auf die Art und Weiſe, in welcher dieſe ſich zuſammen-

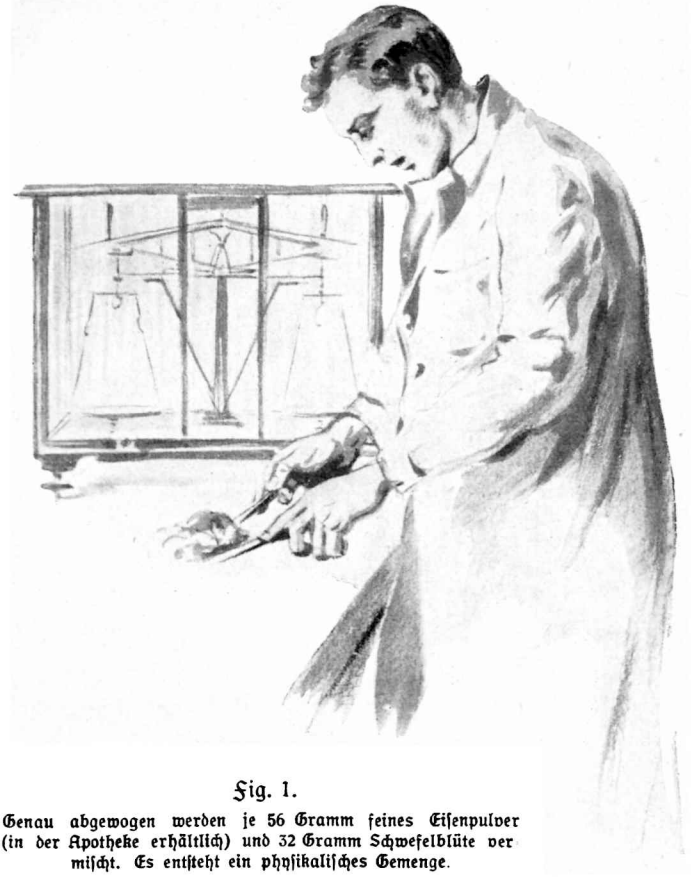


Fig. 1.

Genau abgewogen werden je 56 Gramm feines Eiſenpulver (in der Apotheke erhältlich) und 32 Gramm Schwefelblüte vermiſcht. Es entſteht ein phyſikaliſches Gemenge.

gruppieren. Wir treten damit bereits in ein Sondergebiet der Chemie ein, in die Strukturchemie, welche nicht nur die quantitativen Mengen der Einzelstoffe ermittelt, sondern auch deren Zusammenbau, die chemische Struktur des betreffenden Körpers ergründet.

Die Chemie ist nun zwar an sich ebenso wie die Physik eine reine exakte Naturwissenschaft. Aber wie die angewandte Physik zur Entstehung gewaltiger Industrien geführt hat, von denen beispielsweise die Elektrotechnik genannt sei, so hat auch die angewandte Chemie eine bedeutende Zahl chemischer Industrien ins Leben gerufen. Als eine von vielen sei nur die Farbstoffindustrie erwähnt.

Fig. 2.
Mit physikalischen Mitteln, beispielsweise mit Hilfe eines Magneten, kann man das physikalische Gemenge (Schwefel und Eisen) wieder in seine Bestandteile zerlegen.

Die Industrie aber will mit bestimmten, vom Markte besonders gewünschten Produkten Geld verdienen. Ihr kommt es vor allem darauf an, derartige Produkte in genügender Menge möglichst wirtschaftlich herzustellen, und ihre Arbeit wird daher nicht so sehr die Auflösung oder Analyse irgendwelcher gegebenen Körper als viel-

mehr die Zuſammenſetzung oder Syntheſe der vom Markt gewünſchten Stoffe aus einfacheren Grundſtoffen ſein. Hier treffen wir daher beſonders auf das zweite große Arbeitsgebiet der Chemie, wir kommen zur ſynthetiſchen Chemie. Als bekannteſtes Beiſpiel kann hierfür die Farbſtoffchemie herangezogen werden. Sie geht in der Hauptſache von

Fig. 3.

Das phyſikaliſche Gemenge (Schwefel und Eiſen) wird angezündet. Es ſetzt eine chemiſche Reaktion ein, und es entſteht aus dem phyſikaliſchen Gemenge eine chemiſche Verbindung (Schwefeleiſen), die durch keine phyſikaliſchen Mittel mehr zu zerlegen iſt.

einigen wenigen im Steinkohlenteer vorhandenen Kohlenwasserstoffverbindungen aus und baut aus diesen durch Anfügung bestimmter Atomgruppen die ganze lange, leuchtende Skala der Teerfarbstoffe auf.

Für unsere Erkenntnis vom Wesen der Dinge ist die analytische Chemie einschließlich der Strukturchemie die erste und unumgängliche Voraussetzung. Sind aber mit Hilfe der chemischen Analyse alle Grundfragen geklärt, dann beginnt die neue schöpferische Arbeit der Synthese. Sie beschränkt sich nicht darauf, aus den einfacheren Stoffen nun die komplizierteren in der Natur vorkommenden Verbindungen wieder zusammenzusetzen, sondern sie geht weit darüber hinaus. Sie schafft ganz neue, bisher noch nicht existierende Körper, deren Struktur und Zusammensetzung sie auf Grund der vorangehenden analytischen Forschung voraussagen konnte. So entstanden beispielsweise jene Tausende von Teerfarbstoffen. So entstanden die künstlichen Arzneistoffe wie Antipyrin, Migränin, Salvarsan und dergleichen. So entstanden die künstlichen Duftstoffe, die den Duft tropischer Blumenpracht übertäuben. So entstanden schließlich Kautschukarten, die wesentlich andere Zusammensetzungen und Eigenschaften besitzen, als der in der Natur vorkommende Paragummi. In der analytischen Chemie ist der Chemiker ein suchender Forscher, in der synthetischen Chemie wird er zum aufbauenden Schöpfer und schafft vielfach über die Grenzen der Natur hinaus völlig Neues.

Die Chemie, die heute wie ein mächtiger Baum mit blühender Krone dasteht, ist aus vielen Wurzeln entsprossen. Von der Heilkunde her, von der Hüttenkunde, von der

Keramik oder Töpferei floß allerlei Wissen über das mannigfaltige Verhalten der verschiedenen Stoffe zusammen, sammelte sich im Mittelalter bei denen, die den größten Fragen und Aufgaben der Menschheit, der ewigen Jugend und dem unerschöpflichen Reichtum, nachgingen. Die Alchimisten waren es, die die wenigen chemischen Kenntnisse früherer Jahrhunderte durch das ganze Mittelalter hindurch retteten und nach dem Maße ihrer Kräfte zu vermehren suchten. Die Vorsilbe „Al" verrät bereits, daß die Bezeichnung Alchimist aus dem Arabischen kommt, und in der Tat war viel morgenländisches Wissen in dem etwas verworrenen Vorrat der chemischen Kenntnisse jener mittelalterlichen Goldmacher und Elixiersucher vorhanden (Fig. 4). Wie die fortschreitende Entwicklung aber von der Astrologie des Mittelalters zur Astronomie der Neuzeit führte, so entsproß auch aus jener Alchimie im Laufe des 18. Jahrhunderts die Chemie und entwickelte sich nun schnell zur exakten Naturwissenschaft.

Das ganze 18. und die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts waren der reinen Forschung, der Entwicklung der analytischen Chemie gewidmet. Dann begann der Baum, der bisher nur kräftig gewachsen war, auch zu blühen und Früchte zu tragen. Durch Justus von Liebig profitierte die Landwirtschaft von der gewonnenen chemischen Erkenntnis. Namen wie Bessemer und Thomas zeigen chemische Errungenschaften auf dem Gebiete des Hüttenwesens. Daneben geht die analytische Forschungsarbeit weiter. Kekulé fördert die Strukturchemie und findet die Strukturformel des Benzolringes. Hofmann baut auf den Forschungen Kekulés

weiter, und das Zeitalter der Teerfarben bricht an. 150 Jahre hindurch hatte man die Wünsche und Träume der alten Alchimisten als unwissenschaftlich, phantastisch und unmöglich verdammt und verworfen. Jetzt, in der Fülle neuer Erfolge, faßte man den Mut, auch diese Ideen zu überprüfen, und fand, daß sie vielleicht doch nicht so unmöglich seien. Zwar suchte man nicht mehr den Stein der Weisen, der ewige Jugend und ewiges Leben verleihen sollte, aber Hunderte von neuen und wirksamen Arzneistoffen gingen unter den Händen der Synthetiker aus der Retorte hervor.

Die reiche Gegenwart bot eine solche Fülle von Aufgaben, daß man es um die Jahrhundertwende noch kaum wagte, an das alte alchimistische Problem von der Verwandlung der Metalle zu denken. Man zwang den Luftstickstoff in nutzbare Verbindungen und machte Europa von der Einfuhr des chilenischen Salpeters unabhängig. Man baute den Kautschuk aus seinen Grundstoffen, dem Kohlenstoff und Wasserstoff, auf. Man stellte die Gewürze Indiens in der Retorte her. Kaum eine Aufgabe der Synthese schien noch unlösbar zu sein. Es war in der Hauptsache nur eine wirtschaftliche Frage, eine Frage, ob die Lösung sich auch lohnte. Bei den Farb- und Duftstoffen war dies außer allem Zweifel. Beim künstlichen Salpeter und beim Kautschuk kam es oft auf Bruchteile eines Pfennigs an, ob das künstliche Erzeugnis das Naturprodukt vom Markte verdrängen würde.

Die Synthese einfacher Nahrungsmittel, wie der Stärke, des Zuckers, schien vorläufig bei dem niedrigen Preise der natürlichen Erzeugnisse wirtschaftlich nicht zu lohnen.

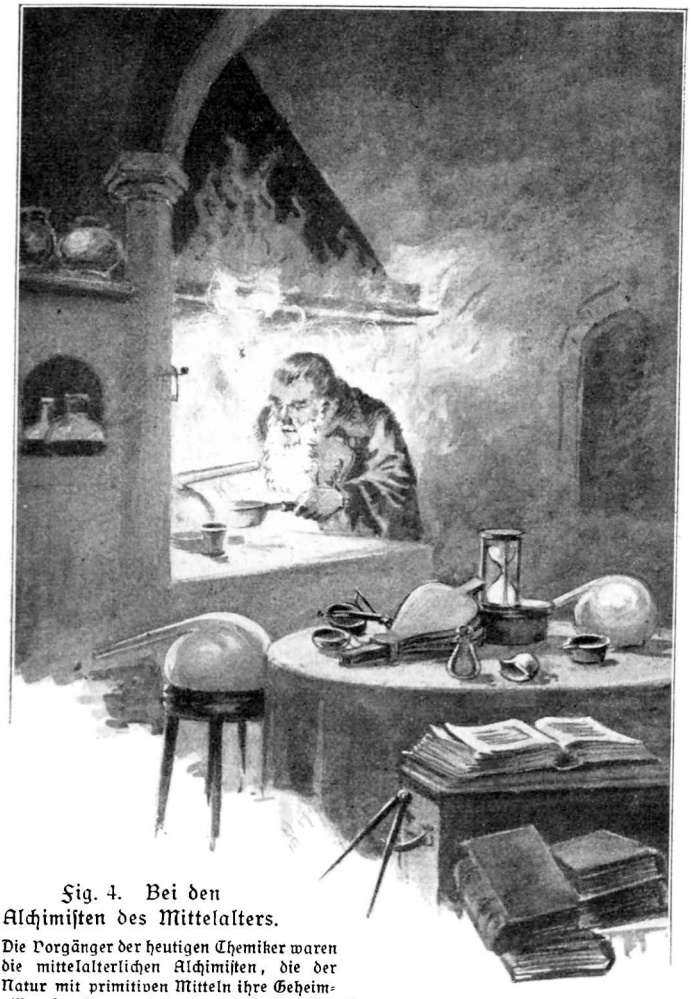


Fig. 4. Bei den Alchimiſten des Mittelalters.

Die Vorgänger der heutigen Chemiker waren die mittelalterlichen Alchimiſten, die der Natur mit primitiven Mitteln ihre Geheimniſſe abzuliſten verſuchten. Sie ſuchten den Stein der Weiſen, wollten unedle Metalle in Gold verwandeln und machten dabei auch manche nützliche Entdeckung.

Wiſſenſchaftlich und theoretiſch hätte ihr kaum etwas im Wege geſtanden. So lagen die Dinge, als der Weltkrieg ausbrach und die Zeit der Erſatzſtoffe begann. Daß Deutſchland, von der Welt abgeſchnitten, der Übermacht ſo lange widerſtehen konnte, war nicht zum mindeſten ſeiner chemiſchen Induſtrie zu danken. Der Krieg zwang dazu, für die Bedürfniſſe des Augenblicks zu arbeiten, und hielt die reine Forſchung auf. Erſt nach dem Kriegsende kam ſie wieder zu ihrem Rechte und hat in den wenigen ſeitdem verfloſſenen Jahren Gewaltiges geleiſtet. Der alte Alchimiſtentraum von der Verwandlung der Metalle und überhaupt der Grundſtoffe iſt heute kein Traum mehr. Schon hat der Engländer Rutherford den Stickſtoff in Helium und Waſſerſtoff zerlegt, hat der Deutſche Miethe Queckſilber in Gold verwandelt.

Die angewandte Chemie, die chemiſche Induſtrie, macht in ihren Erzeugniſſen heute alles das nutzbar, was die Forſcherarbeit etwa bis zum Ausbruch des Weltkrieges gefunden und feſtgelegt hatte. Die chemiſche Forſchung aber ſchreitet unabhängig davon ſtetig weiter und hat bereits ein völlig neues Gebiet betreten, für welches der Name Ultraſtrukturchemie geprägt wurde. Vom Bau der Moleküle, welchen die Strukturchemie ergründete, iſt ſie fortgeſchritten zur Erforſchung der kleinſten Teile der Materie, der Atome, die bis in unſer Jahrhundert hinein für die letzten Bauſteine der Natur galten. Sie hat damit ein Grenzgebiet betreten, auf dem Chemie und Phyſik ſich begegnen. Es iſt ein Gebiet, von dem Alfred Stock ſagt, daß in ihm ſchon viele Blüten und Früchte, aber noch mehr verheißungsvolle Knoſpen

prangen. Ein Wundergarten, dessen Besuch Anregung und Genuß überreichlich bieten kann. Freilich ein Garten, der auch Dornen hat, physikalisch-mathematische Theorien, die dem Chemiker ferner liegen als dem Physiker.

Die Arbeit auf diesem neuen Gebiete muß zunächst in der Hauptsache analytischer, forschender Art sein. Es handelt sich ja darum, die wirkliche Struktur der in der Schöpfung vorkommenden 92 chemischen Grundstoffe oder Elemente zu ermitteln. Eine Riesenaufgabe, wenn man bedenkt, daß wir heute erst die Atomstruktur von etwa drei bis vier Elementen einigermaßen kennen. Ist sie aber einmal in zäher Arbeit gelöst, dann dürfte für die Chemie und für die Menschheit ein Zeitalter anbrechen, schöner und glücklicher als das goldene Zeitalter der Dichtung. Dann würden wir in der atomistischen Energie über eine Energiequelle verfügen, die uns schlechterdings alles ermöglicht, und wären, durch wirtschaftliche Rücksichten nicht mehr behindert, in der Lage, alle gewünschten Verbindungen, also auch Lebensmittel aller Art, in unbegrenzten Mengen herzustellen. Der Blick, den die Zukunft hier bietet, ist so überraschend schön, daß alle bisherigen Leistungen der chemischen Wissenschaft daneben verblassen müssen.

Von Molekülen und Atomen

Die moderne Chemie beruht auf der atomiſtiſchen Anſchauung der Materie. Das Weſen dieſer Anſchauung wird ſich am leichteſten an einem Beiſpiel erläutern laſſen. Wenn man irgendeinen zuſammengeſetzten Stoff, etwa das bereits erwähnte Schwefeleiſen, vornimmt und beginnt, ihn zu teilen, ſo wird man dabei mit fortſchreitender Teilung zu immer kleineren Teilchen gelangen. Immer aber werden ſich dieſe Teilchen als derſelbe ſchwärzliche, ziemlich harte Stoff erweiſen, den wir als Schwefeleiſen kennen. In der Wirklichkeit werden wir bei unſeren Teilverſuchen an eine praktiſche Grenze kommen, wo uns eine weitere Teilung nicht mehr gelingt. Wir können beiſpielsweiſe das Schwefeleiſen in einer Quarzſchale mit einem Quarzſtempel zu einem ſo feinen Pulver zerreiben, daß die Teilchen nicht mehr zwiſchen den Zähnen knirſchen und nicht mehr auf der Lippe gefühlt werden. Aber immer noch wird ein Stäubchen dieſes Pulvers unter dem Mikroſkop als Schwefeleiſen erkannt werden. Doch wenn auch unſere wirklichen Teilungsmittel verſagen, ſo können wir den Verſuch doch in Gedanken weiterführen. Im Geiſte teilen wir ſolch ein winziges Pulverſtäubchen weiter und immer weiter. Aber plötzlich kommen wir dabei an eine Grenze. Wir kommen an ein Schwefeleiſenteilchen, welches allen unſeren Verſuchen, es mit mechaniſchen Mitteln weiter zu teilen, einen unüberwindlichen Widerſtand entgegenſetzt, ſo daß es phyſikaliſch nicht weiter teilbar iſt.

In diesem Teilchen haben wir nun die kleinste überhaupt existenzfähige Schwefeleisenmasse vor uns. Die kleine Masse heißt auf lateinisch molecula, und danach nennt man solch ein kleinstes Teilchen einer Verbindung ein Molekül. Den Teilungsprozeß, den wir bisher vollzogen haben, können wir etwa mit der Teilung eines Regiments Soldaten in kleine und immer kleinere Abteilungen bis hinab zum einzelnen Manne vergleichen. Durch einfache Befehlsgewalt wird der Oberst des Regiments imstande sein, kleine und kleinere Gruppen von Soldaten zu schaffen, bis schließlich der einzelne Soldat als der kleinste, durch Befehlsgewalt noch zu erreichende Teil des Regimentes vor ihm steht.

In ähnlicher Weise haben wir durch mechanische Teilung das kleinste Teilchen einer Verbindung, das Molekül, erreicht. In beiden Fällen sind wir dabei an eine Grenze gelangt. Der Oberst kann dem einzelnen Soldaten unter Androhung der schwersten Strafen befehlen, sich noch weiter zu zerteilen; er wird diese Teilung auch mit schärfster Befehlsgewalt nicht erreichen. Wenn aber etwa eine Granate den Soldaten trifft, daß seine Gliedmaßen nach allen Richtungen auseinanderfliegen, dann haben wir eine weitere Teilung. Aber die Teile sind jetzt etwas anderes, als das Ganze war. Es sind nicht mehr komplette Soldaten, sondern nur noch verschiedene Stücke, aus denen der Soldat zusammengesetzt war. Beim Molekül müssen wir ebenfalls zu schärferen Teilungsmitteln greifen. Mit chemischen Mitteln gelingt es uns, das Schwefeleisenmolekül nochmals in zwei Teile zu zerspalten. Aber nach dieser Teilung haben wir nicht mehr zwei Teilchen Schwefeleisen, sondern ein Teilchen

Fig. 5.
Der Kommandeur läßt die Mannſchaften der Kompagnie in Gruppen von je vier Mann auseinander treten. Sein Kommando genügt, um dieſe Teilung durchzuführen.

Schwefel und ein Teilchen Eiſen vor uns. Verſchwunden iſt der ſchwarze Stoff; gelber Schwefel und blankes Eiſen ſind wie durch Zauber an ſeine Stelle getreten.

Die kleinſten Teilchen, die wir nun nach dieſer neuen, gewaltſameren Teilung vor uns haben, ſind die kleinſten Mengen, in denen die beiden Stoffe Schwefel und Eiſen überhaupt exiſtieren können, die kleinſten Teilchen der

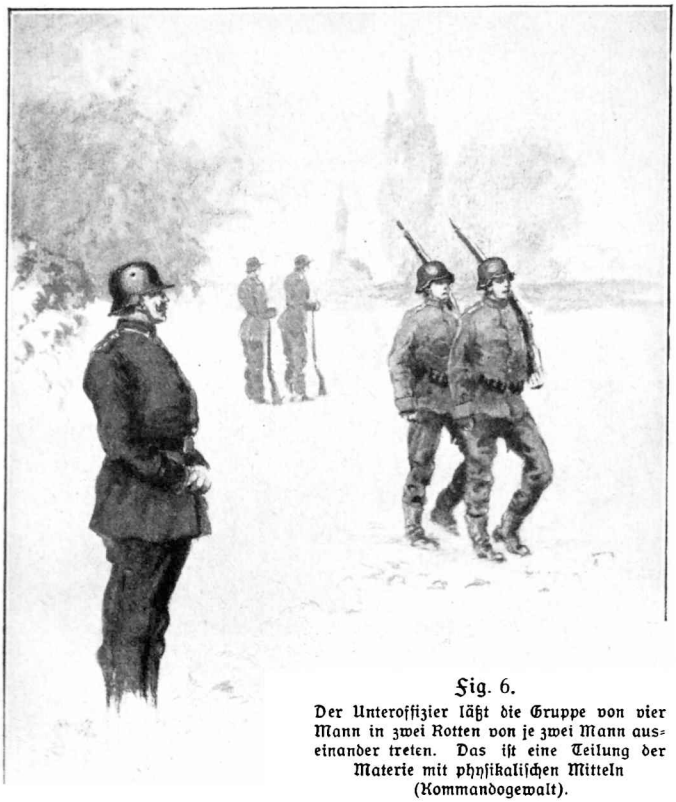


Fig. 6.
Der Unteroffizier läßt die Gruppe von vier Mann in zwei Rotten von je zwei Mann auseinander treten. Das ist eine Teilung der Materie mit phyſikaliſchen Mitteln (Kommandogewalt).

ſogenannten chemiſchen Grundſtoffe oder Elemente. Bei ihnen verſagte noch bis vor kurzem jeder weitere Teilungsverſuch, und man nannte ſie deshalb auf griechiſch Atome, d. h. die „Unzerſchneidbaren".

Die Atome wurden als die letzten Bauſteine der Natur betrachtet. Jedes Atom ſtellte eine für jeden Grundſtoff

Fig. 7.

Der „Herr Unteroffizier" befiehlt dem einzelnen Mann, ſich noch weiter zu teilen. Aber gegenüber dem einzelnen Mann (Molekül) verſagt das phyſikaliſche Mittel der Kommandogewalt.

ein für allemal beſtimmte Menge von Materie vor und war außerdem mit gewiſſen anziehenden und teilweiſe auch abſtoßenden Kräften behaftet, durch welche die Bildung der mannigfachen zuſammengeſetzten Stoffe oder chemiſchen Verbindungen zuwege kam.

Dieſe atomiſtiſche Auffaſſung der Materie war an und für ſich nicht neu. Schon die Philoſophen der älteſten griechiſchen Zeit ſprachen von Atomen und verſtanden darunter ebenfalls die kleinſten, nicht weiter zerlegbaren

Teilchen der Materie, aus denen die ganze Welt sich aufbauen sollte. Aber die moderne Wissenschaft ist ein gutes Stück weitergegangen. Sie hat die Abmessungen, die Gewichte und sonstigen Eigenschaften sowohl der Moleküle wie der Atome sehr genau ergründet. Daß diese Teilchen äußerst klein sein mußten, lag von vornherein auf der Hand. Wußte man doch, daß beispielsweise ein zehntausendstel Milligramm des Moschusparfüms von empfindlichen Nasen noch auf einen Meter Entfernung gerochen wird, also jedenfalls große Mengen von Duftteilchen, von Moschusmolekülen, nach allen Seiten hin ausstrahlen muß. Wußte man doch ferner aus der Optik und der Lehre von den Interferenzfarben, daß die Wandung einer Seifenblase eine Dicke von weniger als einem zehntausendstel Millimeter zu erreichen pflegt, bevor die Blase platzt.

Es konnte sich bei den Molekülen sowohl wie bei den Atomen also nur um Gebilde handeln, die auch unter dem stärksten Mikroskop niemals sichtbar zu werden vermochten, weil sie wesentlich kleiner waren als die kleinsten sichtbaren Lichtwellen. Daß es trotzdem in unserem Jahrhundert gelungen ist, die Abmessungen und Massen dieser kleinsten Teilchen genau zu ermitteln und in besonderen Versuchsanordnungen sogar einzelne frei fliegende Moleküle sichtbar zu machen, bleibt deshalb eine besonders glänzende Leistung des menschlichen Geistes.

Als nun die analytische Chemie daranging, die mannigfachen Stoffe, die ihr geboten wurden, zu zerlegen, kam sie bei diesen Zerlegungen wieder und immer wieder auf eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Stoffen, die allen weiteren

Zerlegungsverſuchen widerſtanden und ebendeshalb als chemiſche Grundſtoffe oder Elemente angeſprochen wurden. Die Zahl dieſer Elemente hat im Laufe der letzten hundert Jahre ziemlich geſchwankt. Heute haben wir triftige, in ſpäteren Abſchnitten zu beſprechende Gründe zu der Annahme, daß es im ganzen 92 ſolcher Grundſtoffe oder Elemente gibt.

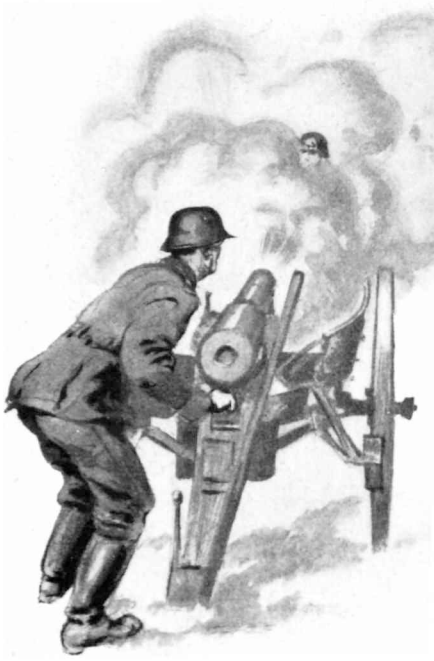


Fig. 8.

Erbittert über das Verſagen der Kommandogewalt (des phyſikaliſchen Mittels) greift der Unteroffizier zu einem ſtärkeren (chemiſchen) Mittel. Er richtet eine Kanone auf den Soldaten und feuert ſie ab.

Der Jetztzeit erſcheint eine ſolche Zurückführung der tauſendfach verſchiedenen Stoffe auf noch nicht hundert Elemente als etwas ganz Selbſtverſtändliches. Für die

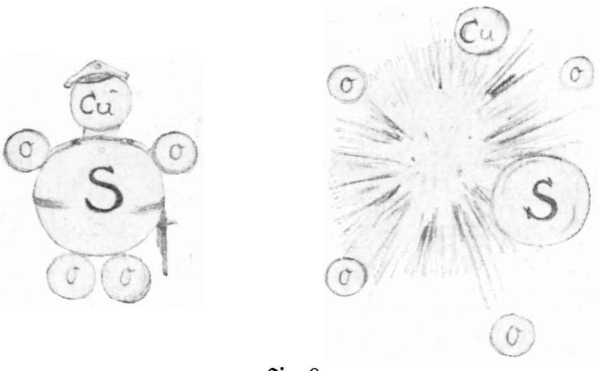


Fig. 9.

Der Soldat geht in Stücke, aber die einzelnen Stücke sind keine Soldaten mehr. (Das Molekül wurde in Atome zerlegt.) Die Zersplitterung der Moleküle in Atome, Kupfervitriol ($Cu\,SO_4$), zerfällt unter der Wirkung chemischer Mittel in Cu, S und 4 O.

Chemiker vergangener Generationen bedeutete es aber immer wieder ein Wunder und erregte Staunen, wenn sich beispielsweise Zucker in schwarzen Kohlenstoff, Wasserstoffgas und Sauerstoffgas spalten ließ. Oder wenn Eiweiß in die fünf Grundstoffe Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel zerlegt wurde. Oder wenn sich im roten Blute des Menschen das Eisenmetall in solcher Menge nachweisen ließ, daß es zur Zeit der Französischen Revolution Mode wurde, das Eisen aus den Körpern verstorbener Angehöriger chemisch herauszuziehen und Gedenkmünzen von der Größe eines Fünfmarkstückes daraus prägen zu lassen. Oder wenn sich etwa das nützliche Kochsalz als eine Verbindung des silberblanken Natriummetalles und des grünen Chlorgases entpuppte. Oder wenn im grünen Farbstoff der Baumblätter ebensoviel Eisen nachgewiesen

wurde wie im roten Blut. Doch über solch Staunen und Wundern vergaßen auch die Chemiker jener Zeit nicht die exakte Forschung.

Sie zerlegten nicht nur, sondern sie trieben quantitative Analyse und stießen bei der genauen Bestimmung der in den Verbindungen enthaltenen Gewichtsmengen der Elemente sehr bald auf das Gesetz der multiplen Proportionen. Bei der Zerlegung des Wassers fand man, daß auf ein Gewichtsteil Wasserstoff stets 8 Gewichtsteile Sauerstoff entfallen. Die Zerlegung der verschiedenen Oxydationsstufen des Stickstoffes zeigten, daß sich 14 Gewichtsteile Stickstoff entweder mit 8 Gewichtsteilen Sauerstoff oder mit 16 Teilen, mit 24, mit 32 oder mit 40 Teilen verbinden.

Ähnliche Gewichtsproportionen zeigten sich bei allen untersuchten Verbindungen. Man hätte nun annehmen können, daß jedes Atom eines jeden Elementes die gleiche Schwere oder Masse besäße, so daß also im Wasser vielleicht 1 Wasserstoffatom und 8 Sauerstoffatome zu 1 Wassermolekül verbunden seien. Aber die Annahme, daß alle Atome verschiedener Elemente gleiche Massen besäßen, war in keiner Weise besonders begründet. Eine andere Annahme führte sofort zu sehr viel einfacheren und übersichtlicheren Formeln für die zusammengesetzten Körper; die Annahme nämlich, daß zwar die Atome ein und desselben Elementes alle dasselbe Gewicht besäßen, daß aber die Atome verschiedener Elemente verschieden schwer seien.

Sobald man sich einmal zu dieser Annahme besonderer Atomgewichte entschloß, mußte es schon im Verlaufe der quantitativen Analysen möglichst vieler Verbindungen ge-

lingen, wenigstens die Verhältnisse der Atomgewichte zueinander festzustellen. Wenn man beispielsweise das Atomgewicht des Wasserstoffes gleich 1 setzte, so mußte man sagen können: „1 Stickstoffatom ist 14mal schwerer als 1 Wasserstoffatom" usw. Dabei mußte man freilich vor Täuschungen auf der Hut sein. Nach den vorstehend gegebenen Proportionen für Wasser- und Stickstoffverbindungen könnte man sich beispielsweise versucht fühlen, das Atomgewicht des Sauerstoffes 8mal so schwer als das des Wasserstoffes anzusetzen. Tatsächlich ist es aber 16mal so groß. Denn im Wasser sind 2 Atome Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff verbunden. In den angeführten Stickstoffverbindungen sind 2 Atome Stickstoff mit 1 Atom Sauerstoff, 1 Atom Stickstoff mit 1 Atom Sauerstoff, 2 Atome Stickstoff mit 3 Atomen Sauerstoff, 1 Atom Stickstoff mit 2 Atomen Sauerstoff und 2 Atome Stickstoff mit 5 Atomen Sauerstoff verbunden. Durch die Untersuchung sehr vieler verschiedener Verbindungen ließen sich solche Unsicherheiten in der Annahme der Atomgewichte fast ganz ausmerzen. Die vollständige Sicherheit boten freilich erst die gleichzeitigen Volumenmessungen bei gasförmigen Verbindungen.

So entstand durch die Arbeiten der analytischen Chemie eine Liste der chemischen Grundstoffe, und als wichtigstes Erkennungszeichen konnte jedem Element sein Atomgewicht in dem hier besprochenen Sinne beigegeben werden. Die Tabelle auf Seite 33 gibt diese Elemente, die formelmäßige Abkürzung jedes Elementes und sein Atomgewicht. Wenn man nun eine chemische Formel niederschreibt, beispielsweise diejenige des Wassers H_2O, so besagt diese

Formel erstens, daß 1 Molekül Wasser sich aus 2 Wasserstoffatomen und 1 Sauerstoffatom aufbaut. Sie besagt aber auch darüber hinaus, daß 16 Gewichtsteile Sauerstoffgas mit 2 Gewichtsteilen Wasserstoffgas zu 18 Gewichtsteilen Wasser verbunden sind. In diesen chemischen Formeln bedeutet das Symbol eines Elementes, also O für Sauerstoff oder H für Wasserstoff, auch zugleich eine dem Atomgewicht entsprechende Gewichtsmenge. Die kleinen Ziffern hinter den einzelnen Symbolen geben an, wie oft das betreffende Atomquantum in der Verbindung enthalten ist.

So lautet beispielsweise die Formel für die Schwefelsäure H_2SO_4. In 1 Molekül Schwefelsäure sind also 2 Atome Wasserstoff mit dem Gewicht je 1, also 2 Gewichtsteile Wasserstoff enthalten. Ferner 1 Atom Schwefel mit dem Atomgewicht 32 und 4 Atome Sauerstoff mit dem Atomgewicht je 16. Es folgt demnach aus der Formel, daß in 98 Gewichtsteilen Schwefelsäure 2 Gewichtsteile Wasserstoff, 32 Gewichtsteile Schwefel und 64 Gewichtsteile Sauerstoff vorhanden sind.

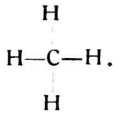
Die Arbeiten der analytischen Chemie lieferten nun zunächst Formeln der hier gegebenen Art, sogenannte empirische Formeln, vom griechischen empeiros, die Erfahrung, welche erfahrungsmäßig die Zahl und die Art der in einem Molekül der betreffenden Verbindung vorhandenen Atome angaben. Zunächst mochte es dabei scheinen, als ob man ganz beliebige Atome zu irgendeiner Verbindung zusammensetzen könne. Sehr bald aber entdeckte man eine andere Gesetzmäßigkeit, die in ihren weiteren Auswirkungen mindestens ebenso bedeutungsvoll werden sollte wie das

Geſetz der multiplen Proportionen und die daraus abgeleiteten Atomgewichte. Es war dies die Entdeckung der verſchiedenen Wertigkeiten oder Valenzen der Elemente.

Man ſtellt ſich die chemiſchen Valenzen bildlich am beſten derart vor, daß man annimmt, jedes Atom wäre mit einer gewiſſen Anzahl von Händen begabt, mit denen es andere Hände faſſen könne. Wenn wir in der Atomtabelle (ſiehe S. 52 u. 53) den Kohlenſtoff als vierwertig verzeichnet finden, ſo bedeutet das alſo, daß er gewiſſermaßen vier Hände beſitzt, während der zweiwertige Sauerſtoff nur über zwei Hände, der einwertige Waſſerſtoff nur über eine Hand verfügt. Unter Berückſichtigung dieſer Annahme können wir uns dann leicht vorſtellen, wie beiſpielsweiſe ein vierhändiges Kohlenſtoffatom vier einhändige Waſſerſtoffatome ergreift und mit ihnen eine Verbindung eingeht. Dieſe Verbindung iſt das Methangas, welches bei den Schlagwetterexploſionen eine üble Rolle ſpielt. Die empiriſche Formel dieſes Gaſes würde man CH_4 ſchreiben. Sie beſagt, daß in 16 Gewichtsteilen Methan 12 Gewichtsteile Kohlenſtoff und 4 Gewichtsteile Waſſerſtoff vorhanden ſind, da das Atomgewicht des Kohlenſtoffes gleich 12 iſt. Wir können nun auf Grund der Wertigkeiten aber auch noch eine andere Formel, die Strukturformel des Methans, geben, indem wir die Valenzen, jene Hände, mit denen die Atome

Fig. 10.
Das einwertige Waſſerſtoffatom H hat eine freie Valenz, eine freie Hand, für die es Betätigung ſucht.

eines Moleküls ſich halten, durch Striche andeuten, mit denen wir die einzelnen Symbole verbinden. So kommen wir zu der folgenden Strukturformel des Methans:



Sie zeigt uns mancherlei. Insbeſondere erſehen wir daraus ſogleich, daß zwiſchen einem Kohlenſtoffatom und dem Waſſerſtoff überhaupt nur dieſe Methanverbindung möglich

Fig. 11.
Mit einem anderen Waſſerſtoffatom H verbindet es ſich deshalb zu einem Waſſerſtoffmolekül von der Form H_2.

iſt. Wollten wir weniger Waſſerſtoffatome an das Kohlenſtoffatom heranhängen, ſo würden Kohlenſtoffvalenzen frei bleiben. Freie Valenzen aber, die ſozuſagen unbefriedigt in die Luft ragen, darf es nach der Valenztheorie nicht geben. Zu unſerem Kohlenſtoffatom gehören alſo mindeſtens 4 Waſſerſtoffatome. Andererſeits dürfen es aber auch nicht mehr ſein, denn über ſeine 4 Valenzen hinaus beſitzt ja der Kohlenſtoff nichts, mit dem er fremde Valenzen packen könnte.

Die Valenztheorie iſt namentlich auf dem Gebiete der Kohlenſtoffverbindungen, der organiſchen Chemie außerordentlich fruchtbar geweſen. Es mag bei dieſer Gelegenheit

Internationale Atomgewichte

Zeichen	Element	Gewicht	Zeichen	Element	Gewicht
Ag	Silber	107,88	N	Stickstoff	14,01
Al	Aluminium	27,1	Na	Natrium	23,00
Ar	Argon	39,88	Nb	Niobium	93,5
As	Arsen	74,96	Nd	Neodym	144,3
Au	Gold	197,2	Ne	Neon	20,2
B	Bor	11,0	Ni	Nickel	58,68
Ba	Barium	137,37	Nt	Emanation (Radon)	222,4
Be	Beryllium	9,1			
Bi	Wismut	208,0	O	Sauerstoff	16,00
Br	Brom	79,92	Os	Osmium	190,9
C	Kohlenstoff	12,005	P	Phosphor	31,04
Ca	Kalzium	40,07	Pb	Blei	207,20
Cd	Kadmium	112,40	Pd	Palladium	106,7
Ce	Cerium	140,25	Pr	Praseodym	140,9
Cl	Chlor	35,46	Pt	Platin	195,2
Co	Kobalt	58,97	Ra	Radium	226,0
Cr	Chrom	52,0	Rb	Rubidium	85,45
Cs	Cäsium	132,81	Rh	Rhodium	102,9
Cu	Kupfer	63,57	Ru	Ruthenium	101,7
Dy	Dysprosium	162,5	S	Schwefel	32,06
Er	Erbium	167,7	Sb	Antimon	120,2
Eu	Europium	152,0	Sc	Skandium	44,1
F	Fluor	19,0	Se	Selen	79,2
Fe	Eisen	55,84	Si	Silizium	28,3
Ga	Gallium	69,9	Sm	Samarium	150,4
Gd	Gadolinium	157,3	Sn	Zinn	118,7
Ge	Germanium	72,5	Sr	Strontium	87,63
H	Wasserstoff	1,008	Ta	Tantal	181,5
He	Helium	4,00	Tb	Terbium	159,2
Hg	Quecksilber	200,6	Te	Tellur	127,5
Ho	Holmium	163,5	Th	Thorium	232,4
In	Indium	114,8	Ti	Titan	48,1
Ir	Iridium	193,1	Tl	Thallium	204,0
J	Jod	126,92	Tu	Thulium	168,5
K	Kalium	39,10	U	Uran	238,2
Kr	Krypton	82,92	V	Vanadium	51,0
La	Lanthan	139,0	W	Wolfram	184,0
Li	Lithium	6,94	X	Xenon	130,2
Lu	Lutetium	175,00	Y	Yttrium	88,7
Mg	Magnesium	24,32	Yb	Ytterbium	173,5
Mn	Mangan	54,93	Zn	Zink	65,37
Mo	Molybdän	96,0	Zr	Zirkonium	90,6

Fig. 12.
Das zweiwertige Sauerſtoffatom hat gewiſſermaßen zwei freie Hände (Valenzen), für die es Betätigung ſucht.

erwähnt ſein, daß die Scheidung der Chemie in eine organiſche und anorganiſche heute längſt überholt und grundlos geworden iſt. Sie ſtammt aus einer Zeit, in der man die Stoffe, welche den Körper lebendiger Organismen bildeten, noch für etwas ganz Beſonderes hielt. Heute bezeichnen wir das große **Gebiet** der organiſchen Chemie beſſer als Kohlenſtoffchemie, da es in einem lebendigen Organismus kaum eine Verbindung gibt, die keinen Kohlenſtoff enthält.

Fig. 13.
Deshalb packt es ein anderes, ebenfalls zweiwertiges Sauerſtoffatom bei deſſen beiden Valenzen (Händen) und bildet mit ihm ein Sauerſtoffmolekül von der Form O_2.

Aber unſere Strukturformel, ſo ſchön und lehrreich ſie ſonſt auch ſein mag, ſteht auf dem Papier. Sie liegt in einer Ebene, während wir uns unter Molekülen und Atomen doch räumliche Gebilde vorſtellen, die keinerlei Urſache haben, ſich nur in zwei Dimenſionen zu entwickeln. Dieſem

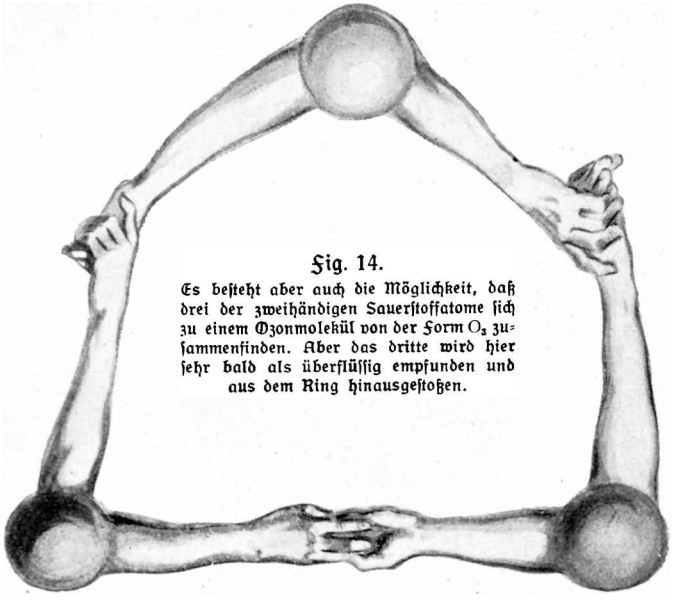


Fig. 14.
Es beſteht aber auch die Möglichkeit, daß drei der zweihändigen Sauerſtoffatome ſich zu einem Ozonmolekül von der Form O_3 zuſammenfinden. Aber das dritte wird hier ſehr bald als überflüſſig empfunden und aus dem Ring hinausgeſtoßen.

Übelſtand hat man ſchon frühzeitig durch beſondere Atommodelle abzuhelfen verſucht, obwohl man von der wirklichen Geſtalt der Atome noch wenig wußte. So ſuchte man als Modell für das vierwertige Kohlenſtoffatom einen geometriſchen Körper, der vier gleichberechtigte und ſymmetriſch zueinander liegende Ecken im Raume beſaß und fand ihn in dem regulären Tetraeder, der dreiſeitigen

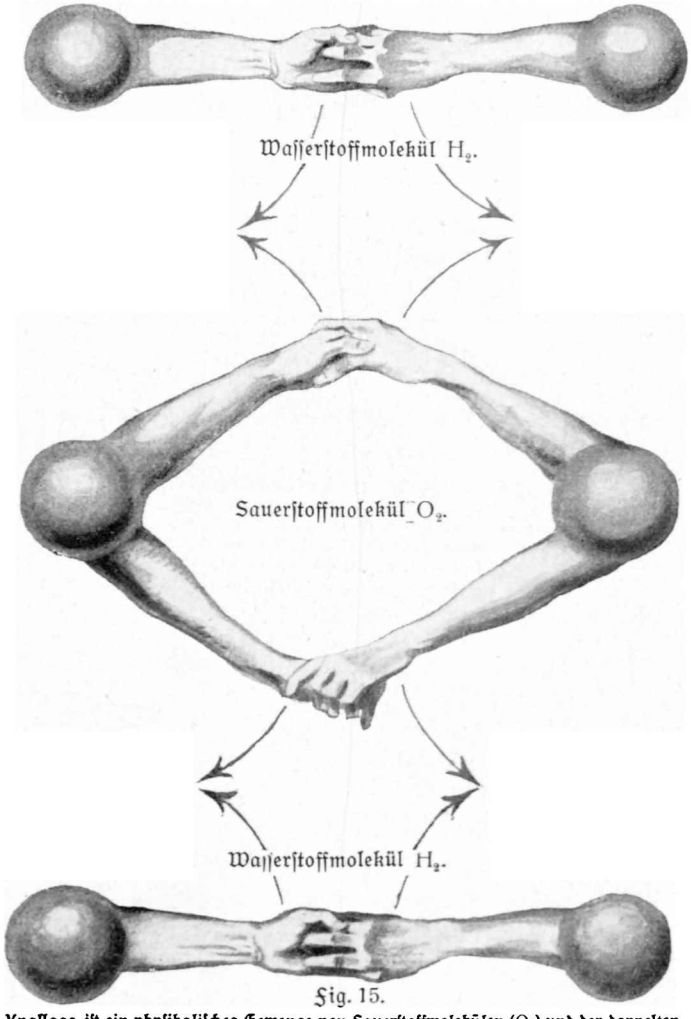


Fig. 15.

Knallgas ist ein physikalisches Gemenge von Sauerstoffmolekülen (O_2) und der doppelten Anzahl Wasserstoffmoleküle (H_2).

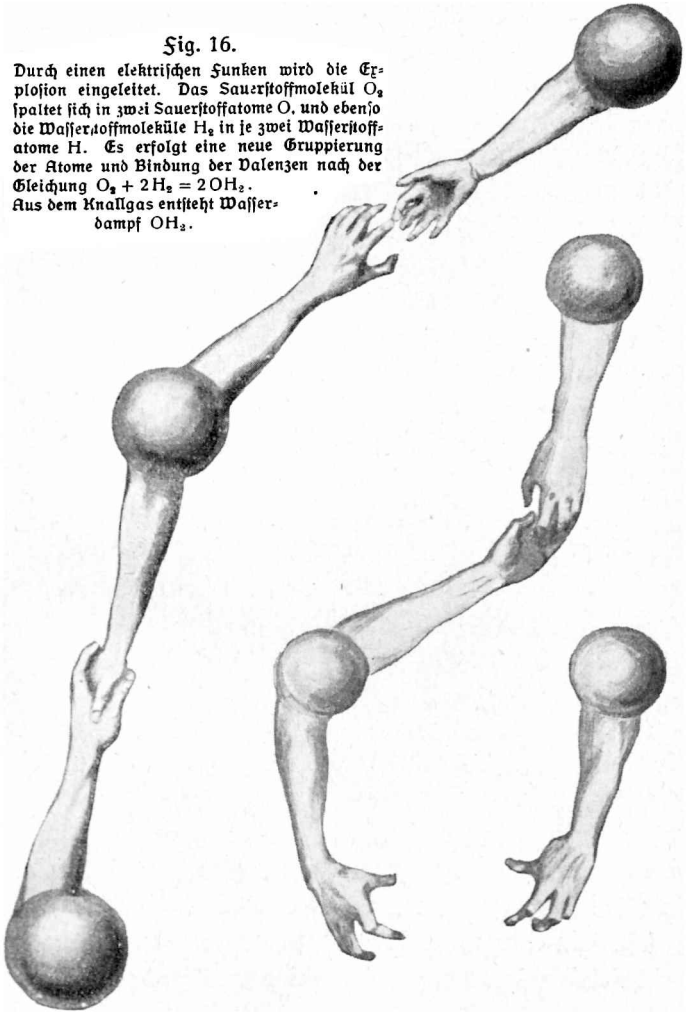


Fig. 16.

Durch einen elektriſchen Funken wird die Exploſion eingeleitet. Das Sauerſtoffmolekül O_2 ſpaltet ſich in zwei Sauerſtoffatome O, und ebenſo die Waſſerſtoffmoleküle H_2 in je zwei Waſſerſtoffatome H. Es erfolgt eine neue Gruppierung der Atome und Bindung der Valenzen nach der Gleichung $O_2 + 2H_2 = 2OH_2$.
Aus dem Knallgas entſteht Waſſerdampf OH_2.

Pyramide. Nimmt man nun für die einwertigen Wasserstoffatome noch perlenartige Körper als Modelle, die ihrer einen Valenz entsprechend in eine Spitze auslaufen, so kann man sich das Modell des Methanmoleküls etwa in der Weise als räumliches Gebilde darstellen, wie es die Abbildung (Fig. 51) zeigt. Selbstverständlich sind derartige Modelle zunächst nur Hilfsmittel für die menschliche Vorstellungskraft. Wir haben nach den neuesten Erkenntnissen der Atomforschung, auf die in einem späteren Abschnitt näher eingegangen werden wird, sogar bestimmten Grund zu der Annahme, daß die Kohlenstoffatome ganz anders aussehen als reguläre Tetraeder. Trotzdem aber haben sich solche Molekülmodelle, bei denen die verschiedene Wertigkeit der sie zusammensetzenden Atome durch passend gewählte geometrische Körper zum Ausdruck kommt, äußerst nützlich erwiesen. Es ist dadurch möglich geworden, nicht nur die Struktur bereits bekannter Stoffe zu erklären, sondern auch alle außerdem noch möglichen Verbindungen vorauszusagen und einen beträchtlichen Teil dieser bisher unbekannten Körper auch wirklich herzustellen.

Wir haben gesehen, daß das kleinste physikalische Individuum, das Molekül, aus den kleinsten chemischen Individuen, den Atomen, zusammengesetzt ist, und daß diese Zusammensetzung durch die Wirkung der Atomvalenzen erfolgt. Das gilt nicht nur für die Moleküle der Verbindungen, sondern auch für die Moleküle der Elemente selbst. Ein einwertiges Wasserstoffatom kann auf die Dauer nicht selbständig existieren. Seine eine freie Hand wird immer eine andere freie Hand suchen. Das Wasserstoffmolekül

müssen wir uns daher als zweiatomig vorstellen, d. h. zwei einwertige Wasserstoffatome haben sich hier zu einem Molekül verbunden. Durch diese Verbindung sind nun aber ihre Hände vollkommen in Anspruch genommen, das Wasserstoffmolekül ist in seinen Valenzen gesättigt, es hat, solange nicht besondere äußere Einwirkungen auftreten, keine Ursache, sich zu verändern und irgendwie chemisch aggressiv zu werden.

Der Sauerstoff ist zweiwertig. Das einzelne Sauerstoffatom hat also gewissermaßen zwei Hände, mit denen es zwei andere Hände fassen kann. Wir können uns deshalb auch das Sauerstoffmolekül zweiatomig vorstellen. Wie etwa zwei Menschen sich die Hände reichen, so reichen sich hier die beiden Sauerstoffatome ihre Valenzen und bilden das Sauerstoffmolekül. Während wir aber das Wasserstoffmolekül überhaupt nur zweiatomig denken können, ergeben sich beim Sauerstoff noch andere Möglichkeiten. Es können ja auch drei Menschen in der Weise zusammentreten, daß jeder seinen Nachbarn je eine Hand reicht. So entsteht ein kleiner Kreis von drei Personen.

Nach den Erfahrungen aus dem Tanzsaal kann man aber sagen, daß eine Gruppe von zwei Personen fester zusammenhält als eine von drei Personen. Genau die gleichen Verhältnisse finden sich beim Sauerstoffmolekül. Neben dem zweiatomigen Molekül des gewöhnlichen Sauerstoffes gibt es das dreiatomige Molekül des sogenannten aktiven Sauerstoffes, des Ozons. Mit Hilfe der elektrischen Glimmlichtentladungen gelingt es, einen beträchtlichen Teil des gewöhnlichen Luftsauerstoffes in aktiven Sauerstoff zu verwandeln, die Luft zu ozonisieren. Aber das Ozon ist

eine sehr wenig stabile Sauerstofform. Sehr schnell wird ein Atom aus dem Molekül ausgestoßen, so daß ein gewöhnliches zweiatomiges Molekül übrigbleibt. Das ausgestoßene Molekül mit seinen beiden freien Valenzen sucht aber schnellstens und dringendst neue Betätigung und Bindung. Oft geschieht dies sehr einfach, indem zwei aus zwei Ozonmolekülen hinausgeworfene Sauerstoffatome sich zu einem neuen Sauerstoffmolekül vereinigen; es entstehen also aus zwei Ozonmolekülen drei Sauerstoffmoleküle.

Nun ist aber etwas Besonderes zu bemerken. Ein solches Atom, welches durch irgendwelche Umstände aus irgendeiner Molekülverbindung hinausgeworfen wird, ist besonders unternehmungslustig. Die chemische Forschung hat dies eigenartige Verhalten schon früh entdeckt. Sie bezeichnet diesen Zustand, bei welchem einzelne Atome eines Stoffes plötzlich frei werden, als den Status nascendi, als den Zustand des Geborenwerdens. In diesem Zustande ist der betreffende Stoff zunächst in Form einzelner Atome mit freien Valenzen vorhanden und sucht natürlich für diese mit Gewalt neue Bindungen. So ist der Sauerstoff, der beim Zerfall des Ozons frei wird, ein äußerst energisches Oxydationsmittel. Er stürzt sich mit Wucht auf alle Verbindungen seiner Umgebung, die etwa noch Sauerstoff aufnehmen, also oxydieren können und bildet mit ihnen neue Verbindungen. So wird beispielsweise ein Gummischlauch, durch den man die ozonisierte Luft eines Glimmlichtapparates leitet, in wenigen Minuten vollkommen morsch und brüchig. Trinkwasser, durch welches man Ozon in Bläschenform hindurchgehen läßt, wird von sämtlichen

etwa darin befindlichen Bakterien radikal befreit, da das Ozon die winzigen Körperchen dieser kleinsten Lebewesen momentan oxydiert, tötet, verbrennt.

Man könnte nun die Frage aufwerfen, ob nicht noch andere Formen des Sauerstoffmoleküls aus noch mehr Atomen möglich sind. Denkbar sind solche Formen natürlich. Ebenso, wie man beliebig viele Menschen in einen Kreis stellen und sich die Hände reichen lassen kann, könnte man sich auch noch Sauerstoffmoleküle aus vier, fünf und aus noch mehr Atomen vorstellen. Aber wir sahen ja schon, daß das dreiatomige Ozonmolekül eine sehr labile, d. h. kipplige Verbindung war, und die Existenz noch höheratomiger Sauerstoffmoleküle ist daher wenig wahrscheinlich. Sollten sich solche Moleküle auch unter dem Einflusse der elektrischen Glimmlichtentladungen gelegentlich bilden, so würden sie wahrscheinlich noch schneller zerfallen als das dreiatomige Ozon.

Nach diesen Betrachtungen läßt sich auch die Frage nach dem Molekülbau der übrigen Elemente schnell beantworten. Im allgemeinen wird man immer zweiatomige Moleküle annehmen dürfen; denn ein Atom mit x Valenzen wird stets die x Valenzen eines zweiten gleichartigen Atomes binden können. Ausnahmen machen die Elemente, welche in den sogenannten allotropen Modifikationen vorkommen, wie Kohlenstoff, Phosphor und Schwefel. Hier muß man für die verschiedenen Modifikationen verschiedenatomige Moleküle annehmen, da nur so die verschiedenen Erscheinungsformen ein und desselben Elementes erklärt werden können. Beispielsweise wird angenommen, daß

im Molekül des Diamanten, d. h. des kristallisierten Kohlenstoffes, wenigstens vier Kohlenstoffatome vorhanden sind. Eine andere Ausnahme bilden schließlich die erst in neuester Zeit entdeckten Edelgase Neon, Krypton, Xenon und Argon. Sie sind chemisch absolut träge, zu gar keiner Reaktion oder Verbindung zu veranlassen. Man nimmt daher an, daß sie gar keine Valenz besitzen, und daß bei ihnen das Molekül einatomig ist, daß also Molekül und Atom in diesen Fällen identisch sind.

Wir sahen, daß jedes Element in statu nascendi, also beim Auftreten freier Atome, besonders bindungslustig ist. Wie haben wir uns nun die Entstehung chemischer Verbindungen vorzustellen? Nehmen wir zunächst den einfachen Fall, daß Sauerstoff und Wasserstoff sich zu Wasserdampf verbinden. Diese Verbindung erfolgt nicht so ohne weiteres. Wir können ja bekanntlich Sauerstoff und Wasserstoff mischen, ohne daß zunächst irgendwelche Reaktion eintritt. Wir haben in diesem Gemisch das bekannte Knallgas. Es genügt indes ein elektrischer Funke oder eine Erhitzung, um die Verbindung in äußerst stürmischer Weise vonstatten gehen zu lassen. Das Ergebnis dieser Verbindung sind Wasserdampfmoleküle von der Form H_2O. Es muß sich also ein zweiatomiges Sauerstoffmolekül in zwei Sauerstoffatome spalten, und jedes dieser Atome muß in ein zweiatomiges Wasserstoffmolekül eindringen, es aufbrechen und sich mit den beiden dadurch in statum nascendi geratenen Wasserstoffatomen vereinigen.

Diese Vereinigung findet nun, sobald sie in einem Knallgasgemenge an einer Stelle erst einmal eingesetzt hat,

äußerſt ſchnell und ſtürmiſch durch das ganze Gemenge hindurch ſtatt. Dabei aber tritt noch etwas anderes auf. Es wird Wärme frei. 1 Kilogramm Waſſerſtoff, welches in dieſer Weiſe in reinem Sauerſtoff zu Waſſerdampf verbrennt, liefert eine Wärmemenge von 30000 Kalorien, eine Wärmemenge, die genügt, um 1 Kubikmeter Waſſer um 30 Grad Celſius zu erwärmen. Da nach dem mechaniſchen Wärmeäquivalent 1 Kalorie gleich 425 Meterkilogramm iſt, entſpricht dieſe Wärmemenge einer mechaniſchen Energie von 12,7 Millionen Meterkilogramm. Man müßte das Gewicht eines Eiſenbahnwagens 1000 Meter tief abſtürzen laſſen, um die gleiche Energie zu gewinnen.

Wo ſtammt dieſe Energie her? Sie muß zweifellos vor der Verbindung der Waſſerſtoff- und Sauerſtoffatome bereits irgendwie vorhanden geweſen ſein und nun bei der Entſtehung der Verbindung frei werden. Wir haben berechtigten Grund zu der Annahme, daß es ſich hier um eine potentielle Energie, um eine Energie der Lage handelt. Ein Eiſenbahnwagen im Gewichte von 12,7 Tonnen, der ſich 1000 Meter über dem Meeresſpiegel befindet, beſitzt ja auch eine ſolche Energie der Lage. Geben wir ihm Gelegenheit, 1000 Meter abzuſtürzen, ſo wird dieſe Energie frei und kommt letzten Endes auch als Wärme zum Vorſchein. Wir wiſſen aber beim Eiſenbahnwagen, daß es nicht ſeine Lage allein macht, ſondern ſeine Lage im Schwerefeld der Erde. Auf dem Monde beiſpielsweiſe würde er bei einem Sturz von 1000 Metern nur einen Bruchteil der hier genannten Energie entwickeln und an einer entfernten Stelle im Weltraum noch viel weniger. Die potentielle Energie

setzt also immer das Vorhandensein bestimmter Kraftfelder voraus, und wir müssen annehmen, daß etwa um die Sauerstoffatome herum räumlich sehr kleine, aber äußerst starke Kraftfelder existieren, welche die Wasserstoffatome mit solcher Gewalt heranstürzen lassen, daß die riesigen Energiemengen frei werden.

Wenn unser Eisenbahnwagen einmal abgestürzt ist, so hat er seine Energie hergegeben. Wir müssen ihn mit demselben Aufwand an Energie erst wieder auf seine alte Höhe emporheben, wenn wir den alten Zustand wieder haben wollen. In gleicher Weise müssen wir die gewaltige Energie von 30000 Kalorien aufwenden, wenn wir den Wasserdampf wieder in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff zerlegen wollen. Man erreicht dies am bequemsten durch die elektrische Zersetzung und ist dabei in der Lage, die aufgewandte Energie sehr genau festzustellen. Es leuchtet auch ein, daß der Wasserdampf bzw. das Wasser sehr stabile Verbindungen sein müssen, da es ja so großer Energien bedarf, um sie zu zerlegen.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei der Entstehung der allermeisten chemischen Verbindungen entweder Wärme frei oder gebunden wird. Nach dem Vorschlage des dänischen Physikers Thomsen bezeichnet man diese Erscheinung als Wärmetönung. Die Wärmetönung kann entweder positiv oder negativ sein. Im vorliegenden Falle des Wasserdampfes haben wir eine positive Wärmetönung, denn hier wird bei der Entstehung der Verbindung Wärme gewonnen. Man bezeichnet eine solche Verbindung auch als eine exothermische Verbindung. Die exothermische Verbindung

enthält weniger Energie als die Stoffe, welche sie bildeten. Wasser oder Wasserdampf ist also eine exothermische Verbindung, weil sie weniger Energie als ihre beiden Komponenten Wasserstoff und Sauerstoff enthält.

Es gibt nun aber auch Verbindungen mit negativer Wärmetönung, sogenannte endothermische Verbindungen. Diese besitzen mehr Energie als die Stoffe, aus denen sie zusammengesetzt wurden. Hier muß also bei dem Zerfall der Verbindung in ihre Komponenten Wärme frei werden. Solche Verbindungen sind beispielsweise alle Explosivstoffe. Auch hier genügt ein Fünkchen, aber es bewirkt nicht wie beim Knallgas die Entstehung einer Verbindung aus ihren Komponenten, sondern den Zerfall der bestehenden Verbindung in ihre Komponenten, beispielsweise den Zerfall der Schießbaumwolle in Wasserdampf, Kohlensäure und Stickstoff.

Die bei molekularen Umgruppierungen und neuen Molekülbildungen auftretenden Energien sind sehr gewaltig. Sie sind viel größer als die bei einfachen mechanischen Vorgängen vorkommenden Energien und werden von der Technik der Gegenwart in weitgehendstem Maße ausgenutzt. Beruht doch unsere ganze Energiegewinnung durch Dampfmaschinen und Verbrennungsmotoren auf der Ausnutzung der bei der Entstehung exothermer Verbindungen, d. h. bei Verbrennungsvorgängen, frei werdenden Energien, während umgekehrt unsere ganze Kriegstechnik in Gewehren und Geschützen die Energien endothermer Verbindungen, die bei deren Zerfall frei werden, benutzt. Unser ganzes Lebensbild ist fast ausschließlich durch solche chemischen Umgruppierungen bedingt.

Das System der Elemente

Durch die Arbeiten der analytischen Chemie wurden die zahllosen zusammengesetzten Stoffe auf eine verhältnismäßig geringe Anzahl von noch nicht hundert Grundstoffen oder chemischen Elementen zurückgeführt. Auf Grund unserer neuesten Anschauungen von der Struktur der Materie glaubt man heute annehmen zu dürfen, daß die Zahl dieser Elemente 92 beträgt und nicht mehr und nicht weniger betragen kann. Schon frühzeitig setzten nun die Bestrebungen ein, die chemischen Elemente in irgendeiner besonders übersichtlichen und innere Zusammenhänge verratenden Art und Weise zu ordnen. Daß die aus lexikographischen Gründen benutzte Methode, die Elemente alphabetisch zu ordnen, diesen Ansprüchen nicht genügte, war selbstverständlich. Eine solche Anordnung, wie sie die Tabelle auf S. 33 zeigt, ist zwar sehr bequem, wenn man etwa schnell das Atomgewicht oder die Wertigkeit eines Elementes nachschlagen will, aber sie hat mit der Natur der Dinge nichts zu tun. Man könnte zum Vergleich ein Beispiel aus der Botanik heranziehen. Das Linnésche Pflanzensystem ordnet die Pflanzen einfach nach der Zahl und Lage der Staubgefäße in den Blüten. Auch dies System ist sehr bequem, wenn man irgendeine gepflückte Pflanze an Hand des Botanikbuches bestimmen will. Aber es hat mit der Natur der Pflanzenwelt nichts zu tun; denn eng verwandte Pflanzenarten kommen dabei häufig in ganz verschiedene Klassen, weil sie zufällig andere Staubgefäßzahlen haben. Wie man

inzwischen in der Botanik ein gutes natürliches Pflanzensystem entwickelt hat, so ging auch in der Chemie das Bestreben dahin, ein natürliches System der Elemente aufzustellen.

Ebenso, wie sich in der Pflanzenwelt verwandte und ähnliche Pflanzengruppen finden, gibt es auch unter den Elementen der Chemie Stoffe, die bemerkenswerte Ähnlichkeit besitzen und geradezu zur Einteilung der einzelnen Elemente in Gruppen oder Familien herausfordern. Man denke nur an die halogenen oder salzbildenden Elemente Chlor, Brom und Jod oder an die Alkalimetalle Lithium, Natrium und Kalium. So kam bereits der Zeitgenosse und chemische Berater Goethes, Döbereiner, zur Aufstellung solcher Dreiergruppen, die er Triaden nannte. Döbereiner erbrachte auch bereits den Nachweis, daß die Unterschiede der Atomgewichte in einer solchen Triade ungefähr gleich sind.

Im Jahre 1865 stellte Newlands das Gesetz der Oktaven auf. Er entdeckte, daß bei einer Ordnung der Elemente nach steigenden Atomgewichten nach einer Periode von sieben Elementen immer wieder ein Element kommt, welches ähnliche chemische Eigenschaften aufweist wie dasjenige an derselben Stelle der vorhergehenden Reihe. Wäre die Entdeckung Newlands' zutreffend gewesen, so hätte man also die Elemente in wagerechten Reihen von sieben untereinander schreiben können und hätte bei dieser Anordnung sieben Vertikalkolonnen erhalten, in denen dann chemisch ähnliche Elemente stehen müßten. Ganz so einfach lag nun die Sache nicht. Immerhin aber waren Döbereiner und Newlands die Vorläufer einer Systematik, die in dem

periodischen System von Lothar Meyer und Mendelejew wesentlich weitergefördert wurde. Auch die letzten Forschungen über die Struktur der Atome haben das Mendelejewsche periodische System nur an einigen wenigen Stellen korrigiert.

Mendelejew ließ den Wasserstoff mit dem niedrigsten Atomgewicht 1 zunächst aus dem Spiel und ordnete die folgenden Elemente nun in wagerechten Reihen von je acht Elementen. Für die beiden ersten Reihen oder Perioden geht diese Anordnung ganz gut auf. Es ergibt sich dabei die folgende Gruppierung:

Helium	Lithium	Beryllium	Bor	Kohlenstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Fluor
4,00	7,00	9,1	10,9	12,00	14,01	16,00	19,00
Neon	Natrium	Magnesium	Aluminium	Silizium	Phosphor	Schwefel	Chlor
20,2	23,00	24,32	27.0	28,1	31,0	32,06	35,46

Betrachtet man in diesen beiden ersten Reihen die untereinander stehenden Elemente, so findet man in der Tat überraschende Gruppenzusammengehörigkeiten. Da finden wir zunächst die beiden Edelgase Helium und Neon, beide chemisch vollkommen träge und in keine Verbindung zu zwingen. Es folgen die beiden Alkalimetalle Lithium und Natrium, die einwertig sind und durchaus gleichartige Verbindungen bilden. Aus den weiteren Gruppen seien besonders der Kohlenstoff und das Silizium, beide vierwertig und ganz ähnliche Verbindungen bildend, herausgegriffen. Zur letzten Gruppe gehören schließlich die beiden salzbildenden Elemente Fluor und Chlor, die größte chemische

Ähnlichkeit aufweisen. Auch die Differenz der Atomgewichte in diesen Vertikalreihen zeigt auffallende Gleichheit. Sie beträgt in allen Vertikalkolonnen fast genau 16. Während sich die chemischen Eigenschaften der Elemente in der ersten wagerechten Reihe bei einem gleichmäßigen Ansteigen der Atomgewichte von Element zu Element allmählich ändern, bringt der kleine Sprung um eine Atomgewichtseinheit zwischen Fluor und Neon einen ganz gewaltigen Umschlag. Aus dem höchst aktiven halogenen Element wird dadurch das ganz unaktive Neon, welches dem ersten Gliede der oberen Reihe äußerst ähnlich ist. Schon diese beiden ersten Reihen verraten also, daß der Gedanke der Periodizität zweifellos einen richtigen Kern haben muß, und daß sich wahrscheinlich bei dem steigenden Atomgewicht immer wieder gewisse Gruppierungen und Anordnungen im Atom selbst wiederholen müssen, welche eben den chemischen Charakter bestimmen und die Wiederkehr ähnlicher Eigenschaften bedingen.

Was aber so schön und leicht begann, das machte bei der Weiterführung doch erhebliche Schwierigkeiten. Sie wurden zu der Zeit, zu der Mendelejew sein System aufstellte, noch durch den Umstand vergrößert, daß viele heute bekannte Elemente damals noch unbekannt waren. An manchen Stellen seines Systems mußte der russische Forscher, als er es aufstellte, noch offene Stellen lassen. Aber er vermochte die Eigenschaften dieser einstweilen noch unbekannten und ganz hypothetischen Elemente mit einer Genauigkeit vorauszusagen, die immer wieder verblüffen muß. Wir werden darauf noch näher zurückkommen.

Setzen wir nun unser System fort und schreiben die nächste Horizontalreihe nieder. Sie beginnt mit dem Argon mit dem Atomgewicht 39,9, welches ganz offenbar in die erste Vertikalkolonne der inaktiven Edelgase gehört. Es folgt das Kalium mit dem Atomgewicht 39,1, welches ebenso sicher seinen Platz in der zweiten Vertikalkolonne der Alkalimetalle finden muß. Aber was geschieht denn hier? Das Argon mit dem Atomgewicht 39,9 müßte doch hinter dem Kalium mit dem Atomgewicht 39,1 stehen. Es wäre aber natürlich ganz unmöglich und hieße das ganze periodische System preisgeben, wenn man wirklich nach diesen Atomgewichten ordnen und das Kalium vor das Argon stellen wollte.

Immerhin stand Mendelejew schon hier vor einem bedenklichen Schönheitsfehler seines Systems. Er suchte sich zunächst zu helfen, indem er annahm, daß die Atomgewichtsbestimmungen dieser beiden Elemente falsch seien, daß Kalium ein größeres Atomgewicht besäße als Argon. Aber die genauesten neuen Messungen ergaben immer wieder diese nicht in die Elementenfolge passenden Atomgewichte. Erst in neuester Zeit ist das Dilemma durch die Arbeiten von Moseley beseitigt worden.

Moseley fand, daß die Stellung der Elemente im periodischen System nicht durch die Reihenfolge der Atomgewichte, sondern durch die Zahl der positiven Kernladungen des betreffenden Atoms bedingt wird. Die Positionsnummer des einzelnen Elementes in diesem natürlichen System ist danach gleich der Zahl seiner positiven Kernladungen. Daß die Atomgewichte dabei in der bei weitem

größten Zahl aller Fälle dauernd steigen und daher ebenfalls die Aufstellung des Systems gestatten, ist zweifellos tiefer begründet. Immerhin aber zeigen die wenigen Ausnahmen, daß es nicht unbedingt so sein muß.

Setzen wir die dritte Spalte fort, so kommen wir vom Kalium über das Kalzium, Skandium, Titan, Vanadium zum Chrom. Aber hier zeigen sich neue Schwierigkeiten. Das Kalzium paßt seinem chemischen Charakter nach nicht ganz zu den senkrecht darüber stehenden Metallen Beryllium und Magnesium; das Skandium nicht zum Bor und Aluminium usw. Ferner würde nun auf das Chrom mit dem Atomgewicht 52 das Mangan mit dem Atomgewicht 55 folgen und müßte logischerweise in die Kolonne der Salzbildner eingereiht werden, in der es als ein Metall ganz bestimmt nichts zu suchen hat.

Schon Mendelejew mußte daher hier das System anders weiterführen, indem er auf die ersten beiden kurzen Perioden von je 8 Elementen eine lange Periode von 18 Elementen folgen ließ. Die weitere Anordnung geht am besten aus der auf Seite 52/53 gegebenen tabellarischen Darstellung des Systems hervor. Während bisher nur 8 Vertikalkolonnen vorhanden waren, die aus Valenzgründen von 0 bis VII numeriert sind, tritt jetzt eine neunte, mit VIII bezeichnete Vertikalkolonne hinzu, in welcher die Metalle Mangan, Eisen, Kobalt und Nickel ihren Platz finden. Alsdann folgt die zweite wagerechte Reihe dieser ersten großen Periode. Sie beginnt in der Vertikalspalte I mit dem Kupfer und führt über Zink, Gadolinium, Germanium, Arsen und Selen zum Brom, welches nun seinen richtigen Platz in der

Das periodische System

Valenz		0	I	II	III
H-Verbindungen . .			—	—	—
Höchste salzbildende Oxyde			M_2O	MO	M_2O_3
Periode	Reihe 1				
1.	„ 2	**2** He 4,00	**3** Li 6,94	**4** Be 9,1	**5** B 10,9
2.	„ 3	**10** Ne 20,2	**11** Na 23,00	**12** Mg 24,32	**13** Al 26,96
3.	„ 4	**18** A 39,9	**19** K 39,1	**20** Ca 40,07	**21** Sc 45,1
	„ 5		**29** Cu 63,57	**30** Zn 65,37	**31** Ga 70,1
4.	„ 6	**36** Kr 82,92	**37** Rb 85,45	**38** Sr 87,83	**39** Y 89,33
	„ 7		**47** Ag 107,88	**48** Cd 112,40	**49** In 114,8
5.	„ 8	**54** X 130,2	**55** Cs 132,81	**56** Ba 137,37	**57—71** σ 139—175
	„ 9		**79** Au 197,2	**80** Hg 200,6	**81** Tl 204,0
6.	„ 10	**86** Ra 222,0	**87**—	**88** Ra 226,0	**89** Ac

der Elemente

IV	V	VI	VII	VIII			
MH_4	MH_3	MH_2	MH				
MO_2	M_2O_5	MO_3	M_2O_7				
			1 H 1,008				
6 C 12,00	**7** N 14,01	**8** O 16,00	**9** F 19,00				
14 Si 28,1	**15** P 31,04	**16** S 32,06	**17** Cl 35,46				
22 Ti 48,1	**23** V 51,0	**24** Cr 52,0		**25** Mn 54,93	**26** Fe 55,85	**27** Co 58,97	**28** Ni 58,68
32 Ge 72,5	**33** As 74,96	**34** Se 79,2	**35** Br 79,92				
40 Zr 90,6	**41** Nb 93,5	**42** Mo 96,0		**43**—	**44** Ru 101,7	**45** Rh 102,9	**46** Pd 106,7
50 Sn 118,7	**51** Sb 121,8	**52** Te 127,5	**53** J 126,92				
72 Hf	**73** Ta 181,5	**74** W 184,0		**75**—	**76** Os 190,9	**77** Ir 193,1	**78** Pt 195,2
82 Pb 207,2	**83** Bi 209,0	**84** Po	**85**—				
90 Th 232,15	**91** Pa	**92** U 238,2					

Vertikalkolonne VII der Salzbildner erhält. Es fällt ferner bei dieſer erſten großen Periode auf, daß ihre Glieder in den Vertikalkolonnen nicht genau ſenkrecht übereinander ſtehen. Das Kupfer beginnt eine neue Vertikalſpalte, die ſich nach unten über das Silber und Gold fortſetzt. Ebenſo das Kalzium, welches eine neue über Strontium und Barium zum Radium führende Vertikalreihe einleitet, während die alte Vertikalſpalte vom Beryllium und Magneſium über das Zink und Kadmium zum Queckſilber weitergeführt wird.

Blicken wir jetzt auf die beiden erſten kleinen Perioden zurück, ſo ſehen wir, daß bereits in dieſen durch eine mehr nach rechts oder links verſchobene Stellung der Elemente dieſe Gabelung der Vertikalreihen vorbereitet war. Weiter bleibt nun noch der Waſſerſtoff mit dem geringſten Atomgewicht in das Syſtem einzureihen. Betrachten wir die Atomgewichte in den folgenden horizontalen Reihen, ſo ſehen wir, daß ſie von Element zu Element um etwa zwei bis drei Atomgewichtseinheiten anſteigen. Dementſprechend müßte der Waſſerſtoff unmittelbar vor dem Helium ſtehen, müßte alſo ſeinen Platz in der Spalte VII über dem Fluor haben. Geben wir ihm in Übereinſtimmung mit Mendelejew dieſe Stelle, ſo ſtimmt auch die Abſtufung der Atomgewichte in der Vertikalſpalte VII gut überein. Es ſteht das Fluor dann ziemlich genau in der Mitte zwiſchen dem Waſſerſtoff und dem Chlor.

Noch ein dritter Grund war für dieſe Stellung des Waſſerſtoffes in die Spalte VII mitbeſtimmend. Die römiſchen Zahlen der Vertikalſpalten haben enge Beziehungen zu der Wertigkeit der in ihnen ſtehenden Elemente. In der

Spalte 0 finden wir die Edelgaſe, welche gar keine Valenz beſitzen und infolgedeſſen auch keine chemiſchen Verbindungen eingehen können. Wir müſſen uns die Moleküle dieſer Gaſe daher auch einatomig vorſtellen, d. h. Molekül

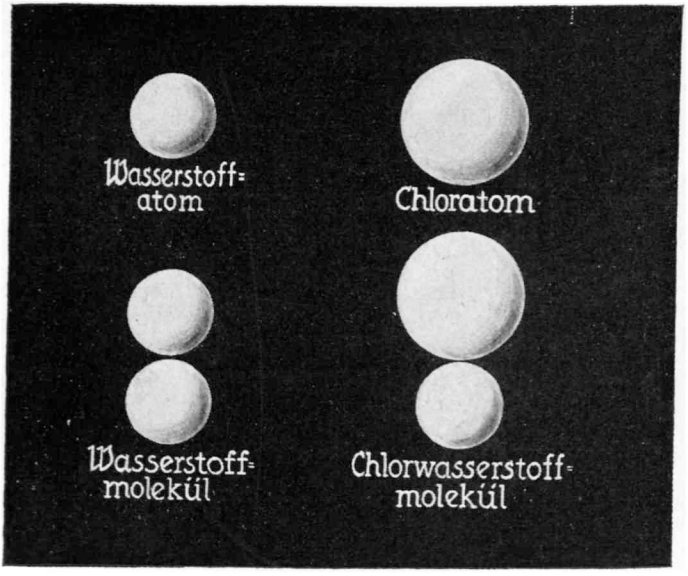


Fig. 17. Beiſpiel für die ältere Auffaſſung.
Die Atome als mathematiſche Kugeln von verſchiedener Größe und Maſſe betrachtet, die ſich aus unbekannten Urſachen zu Molekülen zuſammenſchließen.

und Atom ſind bei dieſen Gaſen dasſelbe. Die Elemente, die wir in der Vertikalſpalte I finden, wie Lithium, Natrium, Kalium uſw., ſind uns als einwertig bekannt. Ebenſo treffen wir in Spalte IV die typiſch vierwertigen Elemente, wie Kohlenſtoff, Silizium uſw. Den Stickſtoff finden wir in

Spalte V, und wir wissen, daß er fünfwertig oder dreiwertig sein kann. Der Sauerstoff steht in Spalte VI. Wir kennen ihn hauptsächlich als zweiwertig. Es sind aber auch Sauerstoffverbindungen bekannt, in denen er zweifellos sechswertig ist. Das gleiche gilt von dem unter dem Sauerstoff stehenden Schwefel. In Spalte VII finden wir hingegen eine ganze Reihe von Elementen, die wir als einwertig kennen. So läßt sich aus dem Schema des periodischen Systems bereits eine Gesetzmäßigkeit vermuten, deren innere Begründung freilich erst die neuesten Arbeiten von Nils Bohr geliefert haben: Die Vermutung nämlich, daß jedes Element grundsätzlich zwei verschiedene Valenzen besitzen kann, deren Summe in jedem Falle 8 ist. Die bekanntesten Beispiele dafür sind, wie gesagt, der Stickstoff (drei- und fünfwertig) und der Sauerstoff (zwei- und sechswertig). Es ist dabei keineswegs gesagt, daß jedes Element zweierlei Valenzen besitzen muß, sondern nur die Möglichkeit ausgesprochen, und diese Möglichkeit wird durch eine beträchtliche Anzahl beobachteter Doppelvalenzen bestätigt. Wenden wir nun dies Gesetz auf den Wasserstoff an, den wir als einwertig kennen, dem zunächst aber einmal eine mögliche Siebenwertigkeit unterstellt werden mag, so können wir ihm nur einen Platz in der Vertikalspalte I oder VII geben. Aber er gehört zweifellos besser in die Gruppe der Salzbildner als in diejenige der Alkalimetalle, und so wird ihm denn der Platz in der Vertikalspalte VII gegeben.

Betrachten wir nun das periodische System in der auf Seite 52/53 gegebenen Form. Der Begründer desselben, Mendelejew, sagte selbst darüber: Der Gesamtcharakter

eines Elementes, wie er sich sowohl in seinen physikalischen als auch in seinen chemischen Eigenschaften offenbart, wird bestimmt durch die Stelle, die es im System einnimmt, und namentlich durch die vier angrenzenden Elemente, die Atomanalogen. Steht ein Element in einer geraden Reihe, dann sind die Elemente in den angrenzenden geraden Reihen seine Atomanalogen. Entsprechendes gilt von den ungeraden Reihen. Hieraus folgt, daß man einem Element, bei genauer Kenntnis seiner Eigenschaften, seine Stelle im System anweisen kann.

Umgekehrt aber, wenn im periodischen System noch eine Stelle unbesetzt ist, so wird man aus den Eigenschaften der vier umliegenden bekannten Elemente die Eigenschaften des noch unbekannten Stoffes voraussagen können. Das aber hat Mendelejew selbst meisterhaft verstanden. Als er sein System aufstellte, war das Germanium, das Element Nummer 32 des periodischen Systems, noch nicht entdeckt. Es war eine Lücke im System, die Mendelejew durch einen hypothetischen Stoff ausfüllte, dem er den Namen Ekasilizium gab, weil er unter dem Silizium seinen Platz im System hatte. Nach Mendelejew mußte das Atomgewicht dieses Stoffes das arithmetische Mittel aus seinen vier Nachbarn Silizium, Zinn (Stannum), Zink und Selen sein. Er berechnete es danach zu 72,9, während das später von Winkler entdeckte Germanium das Atomgewicht 72,5 hat. Mendelejew sagte für das Ekasilizium ein spezifisches Gewicht von 5,5 voraus, während das Germanium 5,47 besitzt. Er gab weiter die spezifischen Gewichte und Siedepunkte einer ganzen Reihe von Verbindungen dieses voll-

kommen hypothetischen Ekasiliziums an, die alle beim Germanium bestätigt wurden.

Man hat nicht mit Unrecht diese genaue Voraus-bestimmung eines noch nicht entdeckten Elementes den bedeutendsten Großtaten des menschlichen Geistes an die Seite gestellt und sie mit der Errechnung des Planeten Neptun durch Leverrier verglichen. Wenn aber eine Hypothese oder eine Theorie nicht nur die bekannten Erscheinungen befriedigend erklärt, sondern darüber hinaus auch noch bis dahin unbekannte Erscheinungen treffend vorauszusagen gestattet, dann muß ihr ohne allen Zweifel ein sehr großer Wahrheitsgehalt innewohnen.

Wollen wir nun diesem Wahrheitsgehalt näherkommen, so müssen wir uns mit der Bohrschen Theorie etwas eingehender befassen. Seit der Erforschung der radioaktiven Substanzen wissen wir, daß die Atome der strahlenden Stoffe, die Nummern 84 bis 92 des periodischen Systems, zusammengesetzt sind, und daß in ihrem Bau mit Gewißheit Atome der negativen Elektrizität, die sogenannten Elektronen, und außerdem Heliumatome vorhanden sind. Seit der Zerlegung des Stickstoffes in Helium und Wasserstoff ist es weiterhin bewiesen, daß das Stickstoffatom sich aus Wasserstoff- und Heliumatomen aufbaut. Unter diesen Umständen liegt die Annahme nahe, daß auch alle übrigen Elemente in ihrem Atombau Gefüge dieser beiden einfachsten Atome sein könnten.

Diese Annahme ähnelt ein wenig der bereits im Jahre 1804 von Prout aufgestellten Wasserstoffhypothese, daß alle schwereren Atome nur Gefüge von Wasserstoffatomen

wären, und stößt zunächst auf die gleiche Schwierigkeit wie diese. Wären alle Elemente aus Wasserstoff und Helium mit den Atomgewichten 1 und 4 aufgebaut, so müßte man bei ihnen überall ganzzahlige Atomgewichte erwarten. Dezimalstellen dürften dabei nicht vorkommen. Diese

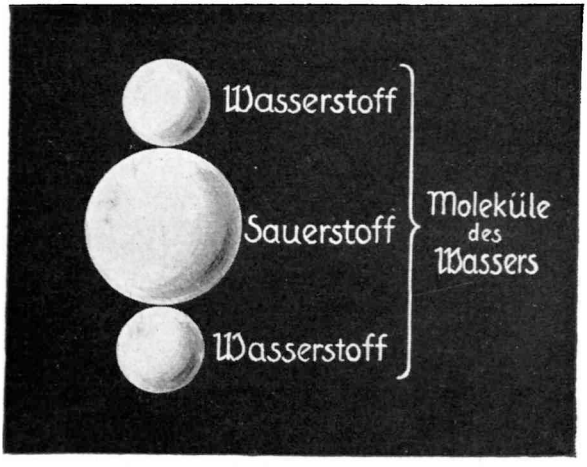


Fig. 18. Modell des Wassermoleküls.
1 Sauerstoffatom + 2 Wasserstoffatome nach der älteren Auffassung.

Schwierigkeit schien in der Tat zunächst unüberwindlich und hat erst in den letzten Jahren durch die Auffindung der sogenannten Isotopen ihre Lösung gefunden. Betrachten wir beispielsweise das Blei mit dem Atomgewicht 207,2! Nun wissen wir, daß das Uran mit dem Atomgewicht 238 sich nach dem Ausstoßen von 8 Heliumatomen mit dem Atomgewicht von je 4 schließlich in Blei verwandelt. Wenn

aber 8 mal 4 gleich 32 Atomgewichtseinheiten vom Urangewicht 238 abgehen, so muß ein Blei übrigbleiben, welches das Atomgewicht 206 besitzt. In der Tat hat man nun solches Blei in der Pechblende, dem Muttermineral des Urans und der anderen radioaktiven Stoffe, gefunden.

Da man mit großer Gewißheit annehmen muß, daß dies Blei wirklich aus dem Zerfall des Urans stammt, so mußte man dies Atomgewicht, welches so sehr von den bisher bestimmten Gewichten abweicht, durchaus erwarten. Aber offenbar stammt nicht alles Blei aus dem Zerfall der radioaktiven Uranfamilie, sondern auch aus dem der Thorfamilie; und hier ergibt sich, wenn man vom Atomgewicht des Thoriums 232 ausgeht, nach Ausschleuderung von 6 Heliumatomen ein Blei mit dem Atomgewicht 208. Nun kam ein Augenblick, in dem die Chemie gründlich umlernen mußte. Man hatte bisher das Atomgewicht als das zuverlässigste und völlig unveränderliche Merkmal des chemischen Elementes betrachtet. Jetzt aber hatte man zwei Stoffe, die für alle chemischen Methoden vollkommen identisch waren, die, einmal zusammengeschmolzen, durch gar kein chemisches Mittel mehr zu trennen waren, die beide unbedingt als chemisch reines Blei angesprochen werden mußten, und von denen doch der eine Stoff das Atomgewicht 206, der andere das Atomgewicht 208 besaß.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß man durch Zusammenschmelzen dieser beiden Isotopen des Bleies in verschiedenen prozentualen Verhältnissen Blei mit jedem zwischen 206 und 208 denkbaren Atomgewicht erhalten kann. Dies Vermischen hat nun auch in den meisten Fällen

die Natur bereits sehr gründlich besorgt, und so erklären sich die ewig schwankenden Atomgewichtsbestimmungen sowohl für das Blei als auch für eine große Reihe anderer Elemente, von denen man heute ebenfalls verschiedene Isotopen kennt. Ein besonders krasser Fall ist das Chlor, dessen Atomgewicht 35,46 ziemlich genau in der Mitte zwischen zwei ganzen Zahlen liegt, und das heute mit Sicherheit als ein Gemisch zweier Isotopen erkannt ist. Wir können heute sagen, daß alle die Anstrengungen vergangener Generationen, Atomgewichte bis auf die dritte Dezimale genau zu bestimmen, vergebene Liebesmüh waren. Wo immer ein Atomgewicht nicht ganzzahlig gefunden wird, haben wir es nach dem heutigen Stande unseres Wissens mit einer Mischung von Isotopen dieses Elements zu tun, auch wenn wir diese selbst noch nicht in reinem Zustande kennen.

Diese Entwicklung hängt zweifellos mit den Grundfragen der Radioaktivität zusammen. Man nahm zunächst an, daß der freiwillige radioaktive Zerfall der Atome beim Blei sein Ende findet. Sollte er trotzdem noch weitergehen, sollte etwa Blei in Thallium, Thallium in Quecksilber usw. unter Ausstoßung von Heliumbausteinen zerfallen, so mußte dieser Zerfall jedenfalls noch unendlich viel langsamer vonstatten gehen als etwa derjenige des Urans zu Radium, der doch schon eine Halbzerfallszeit von 7,5 Milliarden Jahren beansprucht. Denn die Stärke der Strahlung ist ja umgekehrt proportional der Zerfallszeit. Je länger diese, je schwächer die Strahlung. Bei den Stoffen vom Blei an konnte man aber lange Zeit hindurch auch mit den feinsten

Instrumenten keine Strahlung mehr nachweisen und mußte deshalb jedenfalls unendlich lange Zerfallszeiten annehmen.

Aber inzwischen hat sich auch hier das Bild schon wieder geändert. Man hat auch bei Stoffen mit wesentlich geringeren Atomgewichten, beispielsweise beim Kalium und beim Rubidium, eine β-Strahlung, d. h. ein Ausschleudern von Elektronen, festgestellt. Die Vermutung ist daher zum mindesten nicht unbegründet, daß auch die einfacher gebauten Elemente, die niedrigeren Nummern des periodischen Systems, nicht absolut stabil sind, und daraus ergibt sich die Möglichkeit mannigfacher Isotopen, die nun wiederum die einstweilen gemessenen unganzzahligen Atomgewichte sehr einfach als eine Mischung ganzzahliger Isotopen erklärt.

Unser Begriff des chemischen Elements hat durch diese Entdeckung eine merkliche Erschütterung erfahren. Aber andererseits dürfen wir nun diejenigen Stoffe, deren Atomgewichte überraschend ganzzahlig aufgehen, auch als vollkommen einheitliche Stoffe ansehen. Weiter dürfen wir jetzt für die Bohrsche Atomtheorie durchweg ganzzahlige Atomgewichte voraussetzen, die sich in jedem Falle als Kombinationen von Wasserstoffatomen mit dem Gewicht 1 und von Heliumatomen mit dem Gewicht 4 darstellen lassen. Hier hat uns die Chemie der radioaktiven Substanzen von den Schwierigkeiten befreit, an denen vor hundert Jahren die Proutsche Wasserstoffhypothese noch scheitern mußte.

Wir dürfen also heute wieder den Aufbau einer Theorie versuchen, welche die verschiedenen Atome als Gefüge irgendwelcher kleineren Gebilde betrachtet. Die Atom-

gewichte würden es uns nun, nachdem die störenden Dezimalen durch die Entdeckung der Isotopen beseitigt sind, auch erlauben, den Wasserstoff als kleinsten Baustein zu betrachten. Wir dürften also wieder zur Proutschen Wasser-

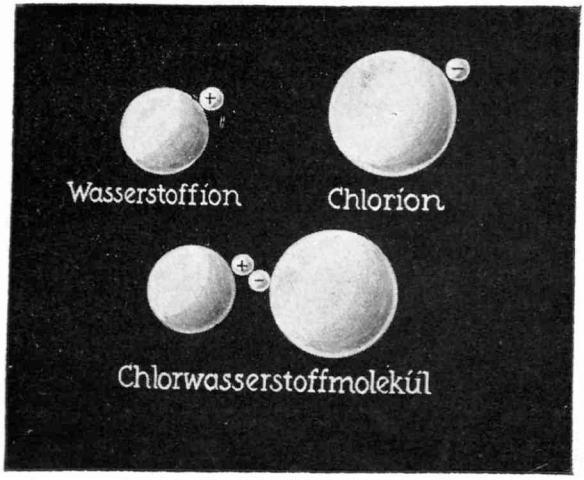


Fig. 19. Neuere Auffassung.
Die Atome stellt man sich zwar auch noch kugelförmig vor, aber ihre gegenseitige Bindung zu Molekülen erfolgt durch ungleichmäßige elektrische Ladungen. Das positiv geladene Wasserstoffatom (Wasserstoffion) verbindet sich mit dem negativ geladenen Chloratom (Chlorion) zum Chlorwasserstoffmolekül (Salzsäuremolekül).

stoffhypothese zurückkehren. Es besteht aber auch die Möglichkeit einer dualistischen Anschauung. Wir können uns die Welt auch aus zweierlei Arten von Bausteinen, nämlich aus Wasserstoff- und Heliumatomen, zusammengesetzt denken. Diese zweite Anschauung findet ihre besondere Stütze in dem Umstande, daß die zerfallenden Atome der

radioaktiven Substanzen ja Heliumatome ausschleudern. Aus der β-Strahlung der radioaktiven Substanzen ergibt sich weiterhin auch der zwingende Schluß, daß in jedem Atombau auch Elektronen, d. h. die Atome der negativen Elektrizität, vorhanden sein müssen.

Nun ist aber jedes chemische Atom in seinem Normalzustande neutral, es zeigt weder elektronegative noch elektropositive Ladung. Da indes elektronegative Ladungen, Elektronen, bestimmt im Atom vorhanden sind, und da diese nur durch gleich starke elektropositive Ladungen nach außen hin neutralisiert werden können, so müssen wir folgerichtig auch Elementarladungen der positiven Elektrizität, also positive Elektronen, im chemischen Atom annehmen, obwohl man diese selbst noch nicht beobachtet hat. Während wir die negativen Elektronen heute nach Größe, Gewicht, Ladung und sonstigem Verhalten recht genau kennen, ist etwas Derartiges für die positiven Elektronen noch nicht der Fall. Die einfache Logik zwingt aber dazu, im Gefüge der Elektronen etwas anzunehmen, was unter anderem auch die negativen Elektronen in ihren Außenwirkungen kompensiert und daher wenigstens die gleichen elektrischen Eigenschaften besitzen muß wie eine einfache elektropositive Elementarladung.

Wenden wir diese Betrachtungen nun auf das Wasserstoffatom an! Mit allen uns verfügbaren Mitteln können wir ihm nur ein negatives Elektron entreißen und dürfen danach einstweilen wenigstens annehmen, daß auch nur ein Elektron im Aufbau des Wasserstoffatoms vorhanden ist. Dann aber kann auch der übrige Teil dieses Atoms nur

eine elektropositive Elementarladung enthalten, denn das Atom ist ja elektrisch neutral, sobald wir ihm das eine entrissene Elektron wieder anfügen. Wir dürfen aber noch nicht ohne weiteres behaupten, daß das Wasserstoffatom nun einfach aus einem negativen und einem positiven Elektron bestünde, denn das Wasserstoffatom besitzt ja eine gewisse Masse, ein bestimmtes Gewicht.

Auf Grund physikalischer Überlegungen, die besonders auf dem Avogadroschen Gesetz und der Loschmidtschen Zahl beruhen, gibt man dem Wasserstoffatom eine Masse von $1{,}64 \cdot 10^{-21}$ Gramm. Wir kennen weiter auch die Masse des negativen Elektrons. Sie beträgt den 1835. Teil der Masse des Wasserstoffatoms und ist gleich $9 \cdot 10^{-28}$ Gramm. Daraus folgt, daß das, was nach der Wegnahme dieses Elektrons noch vom Wasserstoffatom übrig ist, erstens eine positive Elementarladung besitzen und außerdem den allergrößten Teil der Masse des Atoms enthalten muß. Für dies im weiteren noch nicht bekannte Gebilde wollen wir die Bezeichnung Wasserstoffkern benutzen. Wir wissen nun vom Wasserstoffkern, daß er in geeigneter Verbindung mit einem negativen Elektron ein neutrales Wasserstoffatom ergeben muß. Die Frage bleibt zu untersuchen, in welcher Weise diese beiden verbunden sein können und sein müssen.

Grundsätzlich sind zwei Möglichkeiten zu erörtern. Die Verbindung kann statisch oder dynamisch sein. Im ersteren Falle befinden sich Wasserstoffkern und Elektron in Ruhe. Dann wirkt aber zwischen beiden die Anziehungskraft ungleichnamiger Elektrizitäten, und sie müssen so dicht zusammenfliegen, wie es die räumlichen Verhältnisse nur

überhaupt gestatten. Jedenfalls müssen sich die Massen des Kerns und des Elektrons dabei unmittelbar berühren. Die zweite, die dynamische Auffassung, die erfolgreich durch die Atomtheorie des Dänen Niels Bohr vertreten wird, nimmt dagegen an, daß das Elektron um den Atomkern eine kreisende Bewegung ausführt wie ein Planet um seine Sonne. Da die elektrische Anziehung zwischen ungleichnamigen Ladungen genau dem gleichen Gesetze folgt, wie die Newtonsche Anziehung zwischen zwei Massenpunkten, so muß die Bewegung eines solchen um den Atomkern kreisenden Elektrons in der Tat der Planetenbewegung um die Sonne vollkommen identisch sein. Sie muß sich in Keplerschen Ellipsen vollziehen, in deren Brennpunkt der Atomkern steht. Da uns ferner die Größe der elektronegativen und der elektropositiven Elementarladung aus mannigfachen physikalischen und elektrochemischen Versuchen bekannt ist, so können wir für diese zweite dynamische Annahme die Umlaufsgeschwindigkeit und die Zahl der Umläufe des Elektrons für jeden beliebigen Abstand vom Atomkern berechnen. Bevor wir das versuchen, muß aber noch die Massenfrage geklärt werden.

Wir haben bis jetzt dem Kern des Wasserstoffatoms eine positive Elementarladung und den allergrößten Teil der ganzen Atommasse zuschreiben müssen. Nun ist es mit der Masse ein eigenartiges Ding. Im Leben lernen wir die Masse als eine der ersten und realsten Eigenschaften der Materie kennen. Schon das Kind, das sich den Kopf an die Tischkante stößt, macht auf diese Weise mit der Massenträgheit Bekanntschaft. Auch in der Physik wird uns die Masse als etwas der Materie Innewohnendes untrennbar

mit ihr Verbundenes beschrieben. Je tiefer aber die Forschung in den Bau der Materie eindrang, desto problematischer wurde diese scheinbar so leicht begreifliche Masse. Beim Studium der Elektronen mußte man erkennen, daß die Masse des einzelnen Elektrons mit dessen Geschwindigkeit

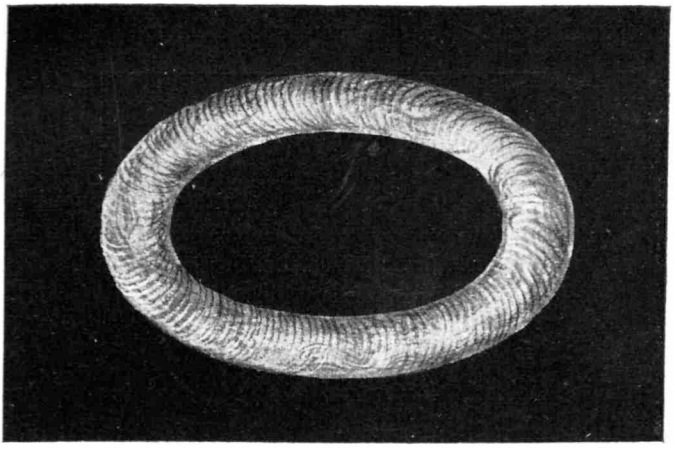


Fig. 20. Der Wirbelring.
Der Helmholtzsche Versuch, das Atom als einen Wirbelring des Lichtäthers zu erklären. (Ein Knoten im Strick ist etwas anderes als der Strick und ist doch Strick.)

zunimmt und ganz gewaltig wächst, wenn diese Geschwindigkeit dicht an die Lichtgeschwindigkeit herankommt.

Aus anderen mathematischen Überlegungen geht weiter hervor, daß die Masse einer elektrischen Ladung, wie wir sie ja bereits beim Elektron feststellten, auch abhängig von der Größe des Raumes ist, den diese elektrische Ladung einnimmt. Die Formel $m = \frac{2e^2}{3r \cdot c^2}$, zu welcher diese

mathematische Ableitung führt, besagt, daß die Masse in diesem Falle gleich dem doppelten Quadrat der Ladung ist, dividiert durch den dreifachen Radius des Elektrons, multipliziert mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit. In dieser Formel steht der Radius im Nenner eines Bruches, und wir können daher den Bruch selbst beliebig groß machen, wenn wir nur den Radius genügend klein wählen.

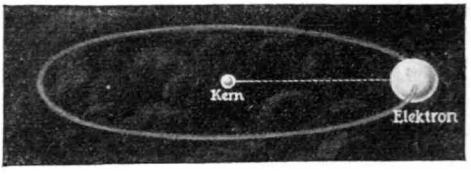


Fig. 21. Neueste Auffassung. **Das Bohrsche Modell des neutralen Wasserstoffatoms.**
Um eine positive Elementarladung als Stern des Systems kreist eine negative Elementarladung als Planet.

Der Gedanke lag nahe, diese Erkenntnis auf den Kern des Wasserstoffatoms anzuwenden. Man sagte: Wir wissen nicht, ob es überhaupt unabhängig von elektrischen Ladungen eine Masse gibt. Aber in jedem Falle können wir den Radius der positiven Elementarladung so klein annehmen, daß diese selbst bereits die Masse bekommt, die wir für den Atomkern gebrauchen. Führt man diese Rechnung durch, so ergibt sich der Radius des Wasserstoffkerns zu $1 \cdot 10^{-16}$ Zentimeter. Wir kennen ferner auch den Radius des negativen Elektrons, welches ja nun in unserem Atomsystem die Rolle des Planeten zu spielen hat. Dieser Radius beträgt $1{,}9 \cdot 10^{-13}$ Zentimeter. Der Planet ist also in unserem Falle, räumlich betrachtet, rund 2000mal größer als die

Sonne. Aus physikalischen Gründen, die besonders aus der kinetischen Gastheorie geschöpft wurden, nehmen wir den Radius des Wasserstoffatomes zu 10^{-8} Zentimeter an.

Diese Zahlen besagen uns zunächst kaum etwas. Sie werden verständlicher, wenn wir sie uns in einem vergrößerten Modell veranschaulichen. Stellen wir uns den

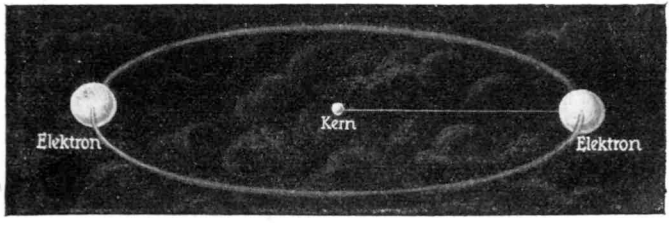


Fig. 22. Bohrsches Modell des negativ geladenen Wasserstoffatoms (Wasserstoffions).
Um eine positive Elementarladung als Stern kreisen zwei negative Elementarladungen auf derselben Bahn als Planeten.

elektropositiven Atomkern als eine Kugel von 1 Millimeter Durchmesser, also etwa als einen Stecknadelkopf, dar, so müssen wir uns den Planeten dieses Systems in einer Entfernung von 100 Kilometer um den Stecknadelkopf herumkreisend denken, und er hat den viel größeren Durchmesser von 2 Meter. Es erscheint paradox und schwer begreiflich, daß der winzige Atomkern, der Stecknadelkopf, fast die 2000fache Masse des 2 Meter dicken Balles besitzen soll, der ihn umkreist. Es widerspricht freilich den Erfahrungen des täglichen Lebens. Wir sehen hier aber praktisch die Auswirkung jener neuesten physikalischen Erkenntnis, daß die Masse eine Eigenschaft der Energie ist und mit der Kompression der Energie auf kleineren Raum gewaltig ansteigt.

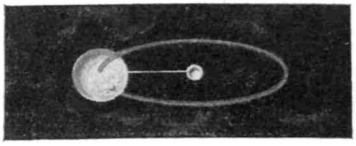


Fig. 23. Positives Helium-Atom.
Um eine doppelte positive Elementarladung als Sonne kreist eine negative Elementarladung als Planet.

Für das neutrale Wasserstoffatom kreist das Elektron im Abstande von $0{,}55 \cdot 10^{-8}$ Zentimeter um den Kern und durchläuft den Kreis 6,5mal 10^{15}mal in der Sekunde. Diese Umlaufszahl pro Sekunde stimmt auch mit den Beobachtungen des Wasserstoffspektrums, welches bekanntlich ganz bestimmte farbige Linien zeigt, überein.

Es würde zu weit führen, wollten wir hier die Möglichkeit verschiedener Bahnen des Wasserstoffelektrons besprechen, die sich eben aus der Spektraluntersuchung ergibt und für den glühenden Wasserstoff gilt. Nur angedeutet mag der Sinn dieser Untersuchungen hier werden. Das mit einer gewissen Frequenz oder Umlaufszahl pro Sekunde um den Kern kreisende Elektron ist auch die Lichtquelle für die Spektrallinien. Es sendet gewisse Mengen strahlender Energie, sogenannte Energiequanten, aus, wenn es durch die dem Wasserstoffgas von außen her zugeführte Wärmeenergie von einer Keplerschen Ellipse auf eine andere verschlagen wird. Die Energiebeträge und auch die Frequenz der ausgesandten Lichtschwingungen stehen dabei in gutem Einklang mit den im Wasserstoffspektrum wirklich beobachteten Strahlen.

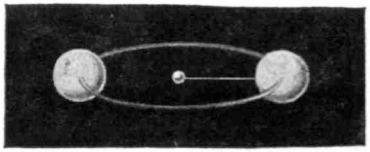


Fig. 24. Neutrales Helium-Atom.
Um eine doppelte positive Elementarladung kreisen zwei negative Ladungen (Elektronen) auf derselben Bahn.

Nehmen wir das vorstehend entwickelte Bohrsche Modell des Wasserstoffatoms einmal als zutreffend an, so taucht sofort die zweite Frage auf: Wie können sich nun zwei derartige Atome zu einem Molekül verbinden? Wir sahen ja bereits in einem früheren Abschnitt, daß das Wasserstoffmolekül aus zwei Wasserstoffatomen zusammengesetzt ist, die recht fest und stabil miteinander verbunden sind. Für das verhältnismäßig einfache Wasserstoffatom

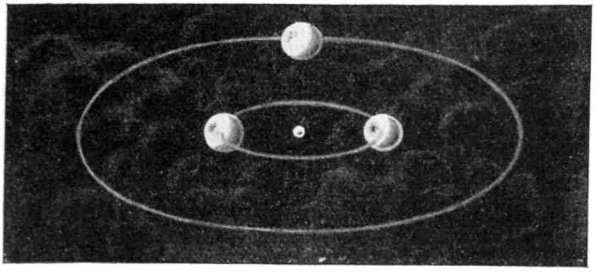


Fig. 25. Negatives Helium-Atom.
Um eine doppelte Elementarladung als Stern kreisen drei negative Ladungen. Zwei davon auf einer inneren Bahn, die dritte auf einer äußeren Bahn.

läßt sich nun auch die molekulare Verbindung mit recht großer Sicherheit angeben. Kommen zwei Wasserstoffatome in Wirkungsnähe, so werden die beiden elektropositiven Atomkerne sich gegenseitig abstoßen. Das gleiche werden die beiden kreisenden Elektronen tun. Dagegen wird jedes Elektron von jedem der beiden Atomkerne und jeder Atomkern von den beiden Elektronen angezogen werden. Aus diesem Hin und Her der anziehenden und abstoßenden Kräfte ergibt sich als einzige stabile Konstruktion aber nur

die in Fig. 26 gezeigte Anordnung. Die beiden Atomkerne liegen auf einer Achse. In einer Ebene, welche diese Achse in der Mitte zwischen beiden Kernen senkrecht schneidet, kreisen die beiden Elektronen auf Keplerschen Ellipsen. Unterstellen wir auch dies Molekülmodell einmal als wahr, so können wir uns nun einigermaßen erklären, warum Wasserstoff in statu nascendi chemisch viel lebhafter wirkt als molekularer Wasserstoff. Im ersteren Falle haben wir noch die einfachen Atome, die leicht und willig die Vereinigung zu einem Molekül eingehen. Ist dies in der in Fig. 26 gezeigten Art geschehen, dann ist aber ein stabileres System entstanden, welches wesentlich schwerer zur Eingehung neuer Bindungen veranlaßt werden kann. Äußerlich zeigt sich dies in der sogenannten Bildungswärme des Wasserstoffs, die stets auftritt, wo Wasserstoffmoleküle aus Wasserstoffatomen entstehen.

Versuchen wir es nun, den Theorien und Ausführungen Bohrs auch für die anderen Elemente zu folgen. Das periodische System hat uns gezeigt, daß die chemischen Eigenschaften der einzelnen Elemente sich bei stetig steigendem Atomgewicht periodisch wiederholen. Nachdem die Eigenschaften in der ersten Periode vom chemisch ganz trägen Helium bis zum äußerst aktiven Sauerstoff und Fluor gelangt sind, springen sie bei einer geringfügigen Zunahme des Atomgewichtes beim Neon wieder zum chemisch trägen Edelgas zurück. Den gleichen Sprung beobachten wir zwischen der dritten und vierten Periode beim Sprung vom Chlor zum Argon. Es muß also im Aufbau der Atome jedenfalls etwas vorhanden sein, was sich beim steigenden Atom-

gewicht periodiſch wiederholt und für den chemiſchen Charakter des betreffenden Elementes ausſchlaggebend iſt.

Was dieſes Etwas nun ſein könnte, darüber gibt ein einfacher Verſuch ganz intereſſante Fingerzeige. Dieſer Verſuch wurde von Mayer bereits zu einer Zeit angeſtellt, als man noch über die Frage ſtritt, ob man einen ſtatiſchen

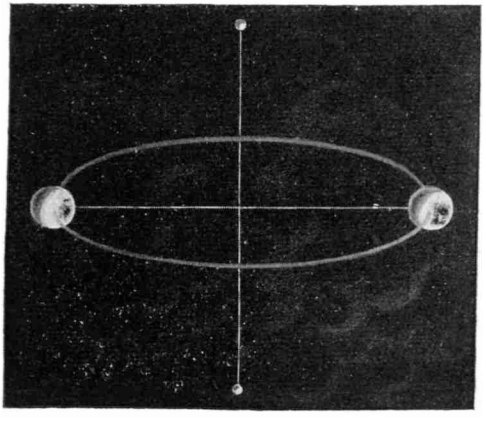


Fig. 26. Das Waſſerſtoffmolekül nach der Theorie von Niels Bohr.
Die beiden Kerne ſtehen auf einer Mittelachſe. Um dieſe kreiſen die beiden Elektronen in einer Ebene.

oder dynamiſchen Aufbau der Atome annehmen ſolle. Zu dem Verſuche gehören eine größere Anzahl magnetiſierter Nähnadeln und ein Stabmagnet. Die Nähnadeln werden ſenkrecht durch Korkſcheiben geſteckt und auf eine Waſſerfläche geſetzt, und zwar mit den gleichen Polen nach oben. Setzt man beiſpielsweiſe zwei ſolche Nadeln auf das Waſſer, ſo werden ſie weit auseinander fahren,

da ihre Pole unter und über Waſſer ſich ja abſtoßen. Nähert man nun aber einen ebenfalls ſenkrecht gehaltenen Stabmagneten den über Waſſer befindlichen Nadelſpitzen mit ſeinem ungleichnamigen Ende, ſo wird er ſie anziehen, und es wird ſich bei geeigneter Haltung des Magneten eine Gleichgewichtslage ergeben, in der die Anziehung des Stabmagneten und die gegenſeitige Abſtoßung der Nadeln ſich die Wage halten.

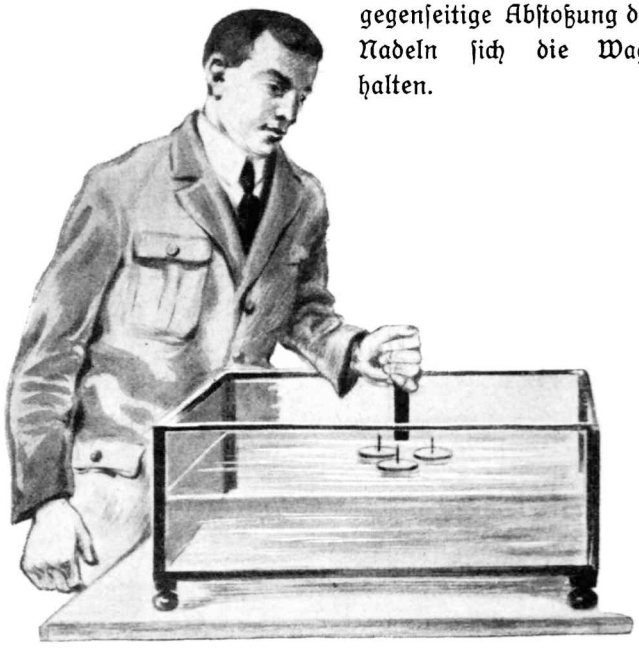


Fig. 27. Magnetverſuche nach Mayer,
um die Gruppierung der Elektronen auf verſchiedenen Kreiſen um den Kern herum zu verſinnbildlichen. Der poſitive Pol der Stabmagnete zieht die negativen Enden der magnetiſierten Nadeln an, während dieſe ſich untereinander abſtoßen. Aus dieſen Gegenwirkungen entſtehen ſtabile Anordnungen der Nadeln um den Magneten herum, die das Verhalten der Elektronen im Atomſyſtem einigermaßen veranſchaulichen.

Dieſer Verſuch läßt ſich nun mit immer mehr ſchwimmenden Nadeln fortſetzen, und es ergeben ſich dabei die charakteriſtiſchen und verhältnismäßig ſtabilen, in Fig. 27—29 gezeigten Gruppierungen. Hier ſehen wir eine periodiſche Wiederkehr beſtimmter Anordnungen bei wachſender Nadelzahl. Bei neun Nadeln finden wir eine innere Gruppe von zwei Nadeln, die von ſieben in einem regulären Siebeneck gruppierten Nadeln umgeben iſt. Bei zehn Nadeln bleibt das äußere Siebeneck, während ſich im Inneren das gleichſeitige Dreieck zeigt, welches bereits bei drei Nadeln auftrat. Dieſe Verſuche ſind in neuerer Zeit für Demonſtrationszwecke in größerem Maßſtabe und mit größeren Mitteln wiederholt worden.

Was nun bei dieſen Verſuchen die von einem Magneten beeinflußten Nadeln, das ſind beim Atommodell die um den Atomkern kreiſenden Elektronen. Ohne zunächſt über

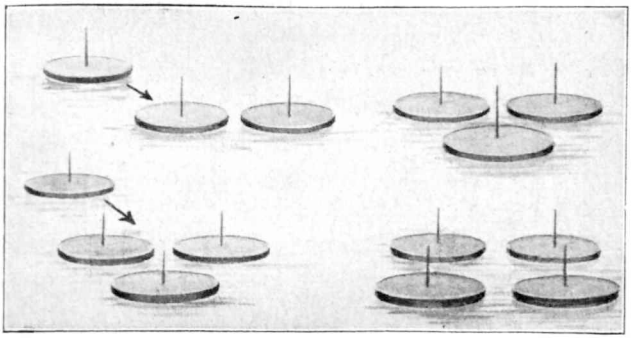


Fig. 28. Die erſten ſtabilen Lagerungen der ſchwimmenden Nadeln um den Magneten.

Zu zwei Nadeln ·—· tritt die dritte ∴ ; zu drei Nadeln ∴ tritt die vierte ⁞⁞ .

die sonstige Natur der weiteren Atomkerne etwas auszusagen, dürfen wir nach den Untersuchungen Moseleys annehmen, daß der Kern eines jeden Atoms so viele freie positive Ladungen besitzt, wie die Nummer des betreffenden Elementes im periodischen System (siehe S. 52/53) angibt. Im neutralen Atom müssen diese Ladungen durch ebenso viele den Kern umkreisende negative Elektronen neutralisiert werden. Dementsprechend hat das neutrale Wasserstoffatom, wie bereits entwickelt, ein Elektron, das Helium zwei, das Lithium drei usw. bis zum Uran mit 92 Elektronen. Diese Elektronen werden, sobald ihre Zahl merklich steigt, auf einer immer größeren Anzahl von Bahnen oder Keplerschen Ellipsen um den Kern kreisen. Wir wissen noch nicht, ob alle diese Bahnebenen zusammenfallen, oder ob die Elektronen in verschiedenen Ebenen rotieren. Wir können auch nichts Bestimmtes darüber aussagen, ob alle Bahnen gleichläufig sind, oder ob bei dem gleichen Atom rechts- und linksläufige Bahnen vorkommen, doch spricht die Existenz der magnetischen Körper fast für die letztere Annahme. Dasjenige aber, was wir zurzeit mit einer gewissen Sicherheit aussagen können, faßt Graetz in die folgenden vier Leitsätze zusammen:

1. Die chemischen Erscheinungen vollziehen sich im wesentlichen an den äußersten Ringen der Atome. Diese äußersten Ringe verschmelzen ineinander und bringen die Bildung des chemischen Moleküls hervor.

2. Der Einfluß sehr hoher Temperaturen einerseits und der elektrischen Erregung (in den Geißler-Röhren) andererseits wirkt auch auf die äußeren, aber auch vielfach auf die mehr nach innen gelegenen Ringe ein, indem sie diese zer-

stört, so daß bei ihrer Rückbildung die gewöhnlichen Spektra entstehen.

3. Das Bombardement der Elektronen, welches die Röntgenstrahlen hervorbringt, beeinflußt im wesentlichen die innersten Ringe der Atome, indem es sie zerstört. Durch ihre Rückbildung entstehen die K-, L- und M-Strahlen der Röntgenspektra.

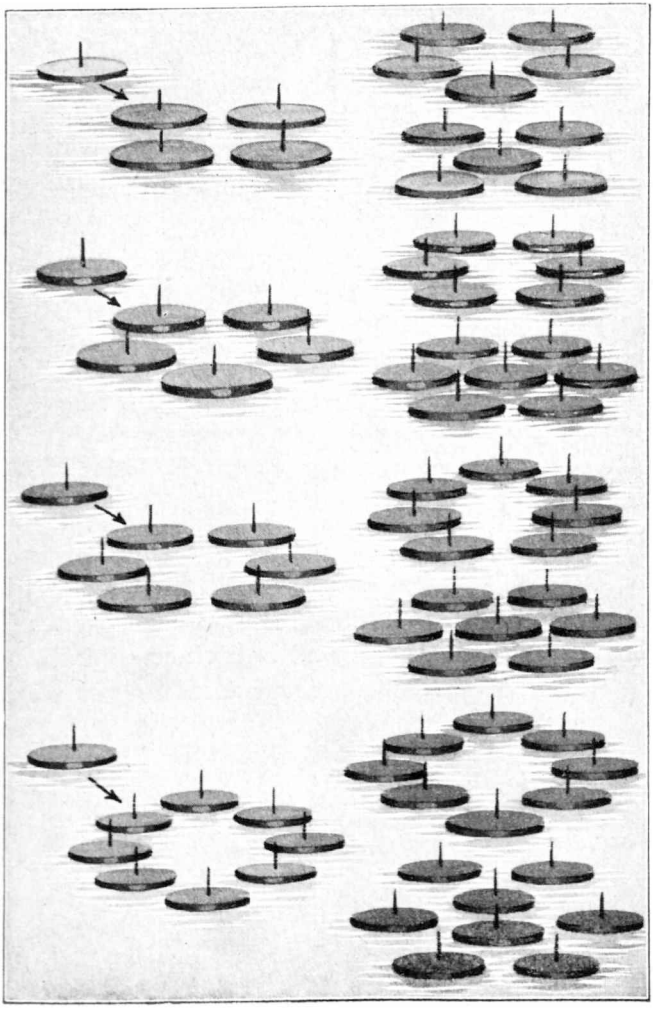
4. Die Atomkerne selbst endlich kommen bei der Radioaktivität in Betracht. Spontan zersetzen sich bei den schwersten Atomen die Kerne selbst und senden die α- und β-Strahlen aus. Die zugehörigen γ-Strahlen kann man nach Rutherford als die charakteristischen Röntgenstrahlen der betreffenden radioaktiven Stoffe auffassen. Die α-Teilchen zersetzen auch die Kerne anderer Atome, wie das beim Stickstoff und Sauerstoff nachgewiesen ist.

Von diesen Leitsätzen interessiert uns besonders der erste. Er besagt, daß die chemischen Erscheinungen hauptsächlich durch die äußersten Elektronenringe, die äußersten Planeten, welche den Atomkern umkreisen, bedingt werden. Damit aber lüftet sich uns der Schleier, der bisher noch über dem periodischen System lag. Wir sehen, wie die Anzahl der positiven Kernladungen von Element zu Element ansteigt. Logischerweise muß dann aber auch die Zahl der um den Atomkern kreisenden Elektronen von Element zu Element ebenfalls um ein Elektron zunehmen; denn um ein neutrales Atom zu erhalten, muß ja die Anzahl der im Kern vorhandenen positiven Elementarladungen durch die gleiche Zahl negativer Ladungen, also kreisender Elektronen, neutralisiert werden. Wenn nun aber der äußere

Ring von Element zu Element immer mehr Elektronen bekommt, dann wird einmal der Moment erreicht werden, an dem dieſer Ring nicht mehr ſtabil iſt und das letzte Elektron aus ihm herausgedrückt und auf einen neuen weiteren Ring verwieſen wird. Auf dieſem beginnt dann das Spiel von neuem. Es wiederholen ſich auf ihm die gleichen Elektronenzahlen wie in der vorhergehenden Periode, bis ſchließlich auch dieſer Ring gefüllt iſt und ein neuer angeſetzt wird. So ergeben ſich zwanglos die chemiſchen Ähnlichkeiten der in den ſenkrechten Spalten des natürlichen Syſtems untereinander ſtehenden Elemente.

Die hier beſprochene Bohrſche Atomtheorie, welche in gleich befriedigender Weiſe eine große Anzahl chemiſcher und phyſikaliſcher Beziehungen erklärt, iſt heute noch in voller Entwicklung begriffen. Der deutſche Phyſiker und Nobelpreisträger Johannes Stark, der ſelbſt auf dieſem Gebiete ſeit zwanzig Jahren arbeitet, gab in ſeinem zu Stockholm gehaltenen Nobelvortrag der Meinung Ausdruck, daß wohl noch hundert Jahre verſtreichen dürften, bis wir den wirklichen Bau des Atomſyſtems ſo genau kennen werden, wie wir heute den Bau unſeres Planetenſyſtems kennen. Vielleicht wird ſich dabei die eine oder andere Annahme noch ändern. Die Hauptſachen aber dürften wohl bleiben, da die Bohrſche Atomtheorie zweifellos einen ſehr großen Wahrheitsgehalt beſitzen muß.

Zu nebenſtehender Fig. 29 (Seite 79).
Der Mayerſche Verſuch mit einer größeren Anzahl von Nadeln.
Bemerkenswert iſt die Wiederkehr der gleichen Konſtellationen von Nadeln auf dem äußerſten Ring. Eine Periodizität, welche das periodiſche Syſtem der Elemente dem Verſtändnis näherbringt.



Besonders interessant und überraschend ist dabei der folgende Umstand: Sowohl nach der Seite des Großen wie nach der des Kleinen hin führt uns die Betrachtung zu ganz ähnlichen, ja fast gleichen Gebilden. Auf der einen Seite haben wir unser Milchstraßensystem mit seinen unzähligen Sonnen, um die Legionen von Planeten ihre Kepler-Bahnen ziehen. Auf der anderen Seite begegnen wir den gleichen Systemen als den Atomen der irdischen, uns umgebenden Masse. Unser Körper selbst besteht nach dieser Anschauung aus solchen unendlich kleinen Sonnensystemen, in denen elektrische Elementarladungen um ihren Kern kreisen. Unser Fleisch, unser Blut, es ist nichts anderes als eine Unsumme solcher Systeme. Phantastisch muten uns diese Ergebnisse einer Wissenschaft an, die den Ruf besonderer Exaktheit für sich in Anspruch nimmt. Ungezügelt tut unsere Phantasie noch einen Schritt weiter und fragt, ob vielleicht das ganze uns sichtbare Weltsystem bis zu den fernsten Sonnen hin am Ende nichts anderes sei als ein winziges Tröpfchen Blut in den Adern irgendeines uns unbekannten, aber über alle Vorstellungen riesenhaften Lebewesens.

Der Stickſtoff und das Stickſtoffproblem

Der Stickſtoff bildet den größten Teil unſerer Atmoſphäre. Beſteht die Luft doch zu vier Fünftel aus dieſem Gaſe und zu einem Fünftel aus Sauerſtoffgas. Die Rechnung ergibt, daß in der Atmoſphäre rund vier Trillionen Kilogramm Stickſtoff vorhanden ſind. Über einen Mangel an dieſem für unſer Leben ſo wichtigen Element werden wir uns alſo ſo leicht nicht zu beklagen haben.

Seinen wenig ſchönen Namen trägt der Stickſtoff mit Unrecht. Es iſt wohl richtig, daß eine brennende Flamme oder ein atmendes Weſen in einer reinen Stickſtoffatmoſphäre nicht exiſtieren können und unter Erſtickungserſcheinungen zugrunde gehen. Aber dieſe Erſcheinungen werden nicht ſoſehr durch das Vorhandenſein des Stickſtoffs als durch das Fehlen des Sauerſtoffs hervorgerufen. An ſich iſt der Stickſtoff ein harmloſes Gas, von dem wir bei jedem Atemzuge beträchtliche Mengen in die Lungen nehmen. Ohne ſeine Gegenwart würde der reine Sauerſtoff die Oxydationsprozeſſe in unſerem Körper ſo gewaltſam und ſchnell ablaufen laſſen, daß wir in kürzeſter Zeit zugrunde gehen müßten. Er hätte alſo zweifellos einen beſſeren Namen verdient als den, den er nun einmal trägt.

Noch in weiterer Hinſicht iſt der Stickſtoff aber für unſer Leben unentbehrlich. Das Stickſtoffatom bildet neben Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Kohlenſtoff und Schwefel einen der Bauſteine in jedem Eiweißmolekül. Die Eiweiße aber ſind wieder für den menſchlichen und tieriſchen Organismus

unentbehrlich. Wir können unsere Nahrungsmittel in drei große Gruppen teilen, in Fette, in Kohlenhydrate und in eiweißhaltige Nahrung. Die Nahrungsfette sind nicht mit den in der Kohlenstoffchemie behandelten fetten Kohlenwasserstoffen zu verwechseln. Während diese nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen und für den menschlichen Körper unverdaulich, ja, geradezu giftig sind, bestehen die Nahrungsfette aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Freilich sind auch in ihnen die Kohlenstoffatome reihenförmig gelagert, und man kann sie als höhere Oxydationsstufen der fetten Kohlenwasserstoffe betrachten.

Die Kohlenhydrate, z. B. Stärkemehl und Zucker, bestehen ebenfalls aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Dabei kommen aber Sauerstoff und Wasserstoff immer im Verhältnis 1 : 2 vor, also in dem gleichen Verhältnis wie im Molekül des Wassers. Solange man sich daher nicht um die genauere Struktur der Kohlenhydrate kümmert, kann man sie als eine Verbindung des Kohlenstoffs und des Wassers auffassen. In Wirklichkeit kommt es aber auf diese Struktur sehr stark an. Beispielsweise besitzen die Moleküle der Stärke und des Zellstoffes, der Zellulose, genau die gleichen empirischen Formeln. Aber ihre Struktur ist beträchtlich verschieden, und der Zellstoff ist für den menschlichen Magen vollkommen unverdaulich, während Stärke und Zucker leicht und vollkommen verdaut werden. Die Eiweißstoffe schließlich enthalten außer den drei Grundstoffen der Fette und Kohlenhydrate auch noch Schwefel und Stickstoff.

Im menschlichen und tierischen Organismus dienen

die Nahrungsſtoffe nun zwei verſchiedenen Aufgaben. Einmal arbeiten ſie als reine Heizſtoffe. Sie werden im Körper oxydiert oder verbrannt und liefern dabei die notwendige Energie, die ſich unter anderem in der gegen die Umgebung erhöhten Körpertemperatur zeigt, und die für den Lebensprozeß unentbehrlich iſt. Andererſeits aber werden aus den Nahrungsſtoffen vom lebendigen Körper auch die Bauſteine genommen, um neue Zellen zum Erſatz für die durch den Lebensprozeß ſtändig verbrauchten Zellen aufzubauen. Als Brennmaterial kann nun jeder Nahrungsſtoff dienen. Für den Erneuerungsprozeß verbrauchter Zellen kommen aber nur die Eiweiße in Betracht, da die aufzubauenden Zellen ja ſelbſt aus Eiweißſtoffen beſtehen. Daraus folgt das durch die Praxis beſtätigte Ergebnis. Man kann einen Menſchen am Leben und bei guter Geſundheit erhalten, wenn man ihn nur mit eiweißhaltiger Nahrung füttert. Er geht aber rettungslos zugrunde, wenn ihm nur Fette und Kohlenhydrate gegeben werden. Ohne ſtickſtoffhaltige Nahrung iſt der Organismus eben nicht imſtande, den natürlichen Verſchleiß zu erſetzen, und ſtirbt ab.

Fig. 30. Eine brennende Kerze in atmoſphäriſcher Luft.
Paraffin $C_{21}H_{44} + X \cdot O = 21\,CO_2 + 25\,OH_2$. Die Kerze brennt und liefert außer den beiden Verbindungen Kohlenſäure und Waſſerdampf auch noch Energie in Form von Wärme und Licht.

Daraus folgt die ungeheuere Wichtigkeit des Stickstoffs für alles Leben, denn das von Mensch und Tier Gesagte gilt sinngemäß geändert auch für das Pflanzenleben. Auch die Pflanze kann ohne Stickstoffnahrung keine Zellen bauen.

Wäre nun der Stickstoff chemisch ebenso regsam wie etwa der Sauerstoff, so würde sich sein Kreislauf im irdischen Leben sehr glatt vollziehen, und man hätte kaum Grund, von einem Stickstoffproblem zu sprechen. Aber der Stickstoff ist chemisch ungemein träge. Seine Verbindungen sind ausnahmslos endothermisch, d. h. man muß Energiemengen, und zwar recht beträchtliche Energiemengen, hinzufügen, wenn man ihn in eine Verbindung zwingen will. Lassen wir etwa eine Stearinkerze in einer Sauerstoffatmosphäre brennen, so erhalten wir eine sehr heiße Flamme, die uns eine beträchtliche Wärmeenergie liefert (Fig. 30). Wollen wir dagegen Stickstoff in einer Sauerstoffatmosphäre verbrennen, d. h. irgendeine Verbindung zwischen N und O herbeiführen, so müssen wir Energie hinzuführen. Die Stickstoffflamme ist nicht nur keine Energiequelle, sondern ein Energieverbraucher.

Den Weg, auf dem man unter Energiezufuhr den Stickstoff zur Verbindung mit dem Sauerstoff zwingen kann, zeigt uns die Natur selbst. Die gewaltigen elektrischen Entladungen, die im Verlaufe eines Gewitters als Blitzschläge auftreten, führen unter Bindung von Blitzenergie stets zur Verbindung von Stickstoffatomen und Sauerstoffatomen der Atmosphäre. Da aber weiter jedes Gewitter mit Regengüssen verbunden zu sein pflegt, so geht die chemische Reaktion dabei in der Weise weiter, daß die gebildeten

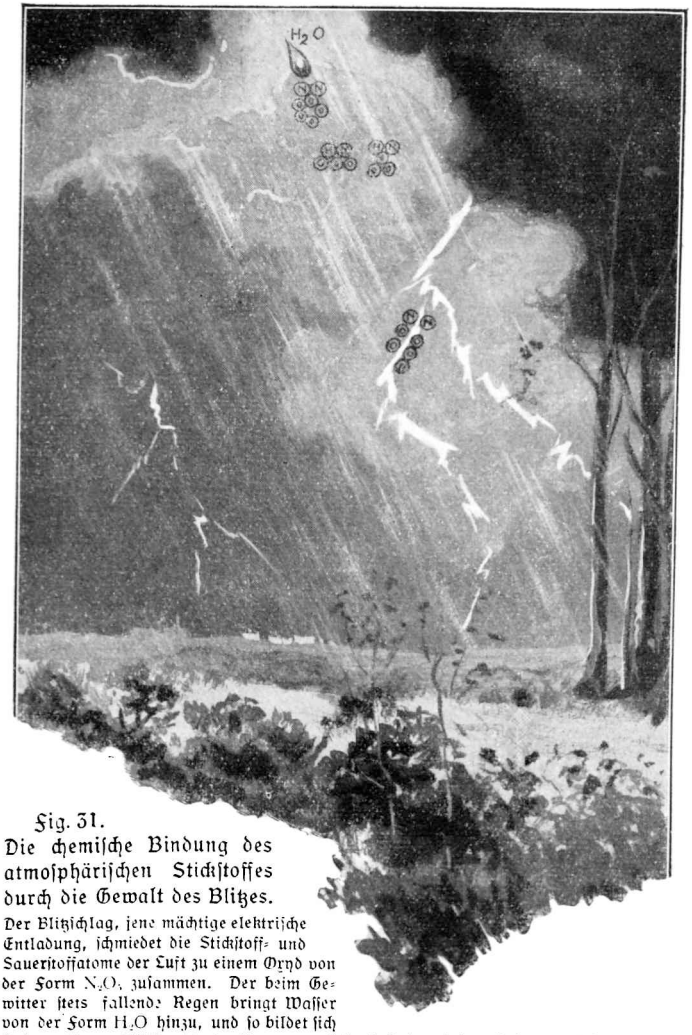


Fig. 31.
Die chemiſche Bindung des atmoſphäriſchen Stickſtoffes durch die Gewalt des Blitzes.

Der Blitzſchlag, jene mächtige elektriſche Entladung, ſchmiedet die Stickſtoff- und Sauerſtoffatome der Luft zu einem Oxyd von der Form N_2O_5 zuſammen. Der beim Gewitter ſtets fallende Regen bringt Waſſer von der Form H_2O hinzu, und ſo bildet ſich Salpeterſäure, HNO_3, die im Regen zur Erde ſtrömt und den Boden fruchtbar macht.

Stickstoffsauerstoffverbindungen sich mit den Wassermolekülen des in vielen Millionen feinster Tröpfchen durch die Atmosphäre rieselnden Regens zu Salpetersäure von der Formel HNO_3 vereinigen (Fig. 31).

Schon der alte Homer spricht von Schwefeldampf, der stets beim Blitzschlag auftritt. Dieser Schwefeldampf ist nichts anderes, als das beim Blitzschlag gebildete Stickoxyd, das einen scharfen, entfernt an Schwefeldampf erinnernden Geruch besitzt. Tatsache ist es, daß jeder Gewitterregen beigemengte Salpetersäure besitzt. Zwar ist der Prozentsatz der Säure im Verhältnis zum Wasser nur sehr gering. Da aber ein tüchtiger Gewitterregen ganz gewaltige Wassermengen im Betrage von vielen Tausenden von Kubikmetern ausschüttet, so ergeben sich dabei doch auch recht beträchtliche Salpetersäuremengen, die nun im Erdboden sofort salpetersaure Salze bilden und somit die geeigneten stickstoffhaltigen Nährstoffe für die Pflanzenwelt liefern.

Wenn wir an der Theorie einer allmählichen Abkühlung der Erde von hellster Rotglut bis zur heutigen Temperatur festhalten, so dürfen wir annehmen, daß fast alle in der Erdkruste vorhandenen Stickstoffverbindungen letzten Endes durch atmosphärische elektrische Entladungen zusammengeschweißt worden sind. Zweifellos hat es in den früheren Jahrmillionen der Erdgeschichte aber auch Gewitter gegeben, denen gegenüber die stärksten Tropengewitter unserer Tage harmlos erscheinen.

Solange die Besiedlung Europas verhältnismäßig dünn und die Ausnutzung des Ackerbodens weniger intensiv war, konnte man dem Kreislauf des Stickstoffs in der Natur seinen

3 200 000 kg
ungebundener
Luftstickstoff
über 400 qm Erdoberfläche
½ kg gebundener
Stickstoff in einer Karre Dung.
Stickstoff für 50 Pfg.

Fig. 32.

freien Gang lassen. Die Pflanzen entnahmen dem Boden die mineralischen Stickstoffverbindungen und bauten daraus im Pflanzenkörper die Pflanzeneiweiße auf. Die Pflanze diente dann ihrerseits als Nahrungsmittel für Tiere und Menschen. Im Tierkörper wurde das Pflanzeneiweiß weiter umgeformt, zu Fleisch und Blut verarbeitet. Als menschliche Nahrung machte der Tierkörper den gleichen Prozeß noch einmal durch. Letzten Endes kamen die stickstoffhaltigen organischen Verbindungen bei diesem Prozeß wieder als Dungstoffe auf den Acker und begannen den Kreislauf durch Pflanze und Tier von neuem. Gründlich zerstört wurden Stickstoffverbindungen dabei nur durch das Feuer. Wo man Pflanzenteile oder Leichen verbrannte, zerfielen die Stickstoffverbindungen wieder vollständig in

Guano.

Ich weiß eine friedliche Stelle
Im schweigenden Ozean,
Kristallhell schäumet die Welle
Zum Felsengestade hinan.
Im Hafen erblickst du kein Segel,
Keines Menschen Fußtritt am Strand;
Viel tausend reinliche Vögel
Hüten das einsame Land.

Sie sitzen in frommer Beschauung,
Kein einz'ger versäumt seine Pflicht,
Gesegnet ist ihre Verdauung
Und flüssig als wie ein Gedicht.
Die Vögel sind all' Philosophen,
Ihr oberster Grundsatz gebeut:
Den Leib halt' allezeit offen,
Und alles andre gedeiht.

Joseph Viktor von Scheffel.

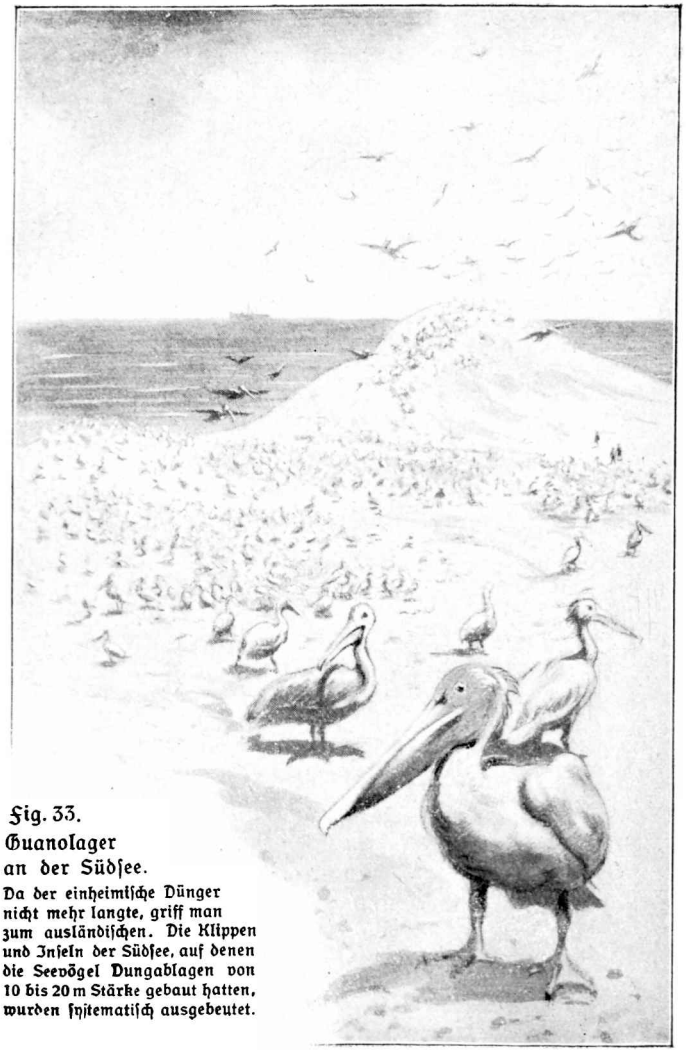


Fig. 33.
Guanolager
an der Südſee.
Da der einheimiſche Dünger nicht mehr langte, griff man zum ausländiſchen. Die Klippen und Inſeln der Südſee, auf denen die Seevögel Dungablagen von 10 bis 20 m Stärke gebaut hatten, wurden ſyſtematiſch ausgebeutet.

ihre Elemente. Aber diesem Stickstoffverlust stand ja ein ständiger Neugewinn gegenüber. Einmal lieferten die Gewitter eines jeden Jahres einen fortlaufenden Strom von Salpetersäure. Außerdem aber gibt es gewisse Bodenbakterien, welche die wunderbare Fähigkeit besitzen, den freien Stickstoff chemisch zu binden und so ihrerseits den Boden mit Stickstoffverbindungen anzureichern. Solange die europäische Landwirtschaft noch in der Lage war, mit der Brache zu arbeiten, d. h. das Feld nach zwei Erntejahren wenigstens ein Jahr brachliegen zu lassen, genügten diese natürlichen Stickstoffzuflüsse, um das Gleichgewicht aufrechtzuerhalten.

Etwa vom letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts an wurde es jedoch notwendig, dem Ackerlande darüber hinaus Stickstoff zuzuführen, und gestützt auf die bahnbrechenden Arbeiten von Justus von Liebig griff man zur Kunstdüngung. In Chile in Südamerika fanden sich überreiche natürliche Salpeterlager. Jahraus, jahrein wanderten nun Millionen von Tonnen des Chilesalpeters über das Weltmeer nach Europa (Fig. 34—36). Im letzten Jahr vor dem Weltkriege hatte allein Deutschland eine solche Salpetereinfuhr im Werte von 100 Millionen Mark. Da aber die Landwirtschaft immer nur 1 Mark für das gebundene Kilogramm Stickstoff zahlte, so läßt sich leicht berechnen, daß die Jahreseinfuhr hunderttausend Tonnen gebundenen Stickstoffes umfaßte.

Schon um die Jahrhundertwende begann diese Entwicklung sowohl den Volkswirtschaftern als auch den Chemikern Sorge zu bereiten. So reich auch die chilenischen Salpeterlager waren, so ließ sich schließlich doch der Tag vorausberechnen, an dem sie einmal erschöpft sein mußten.

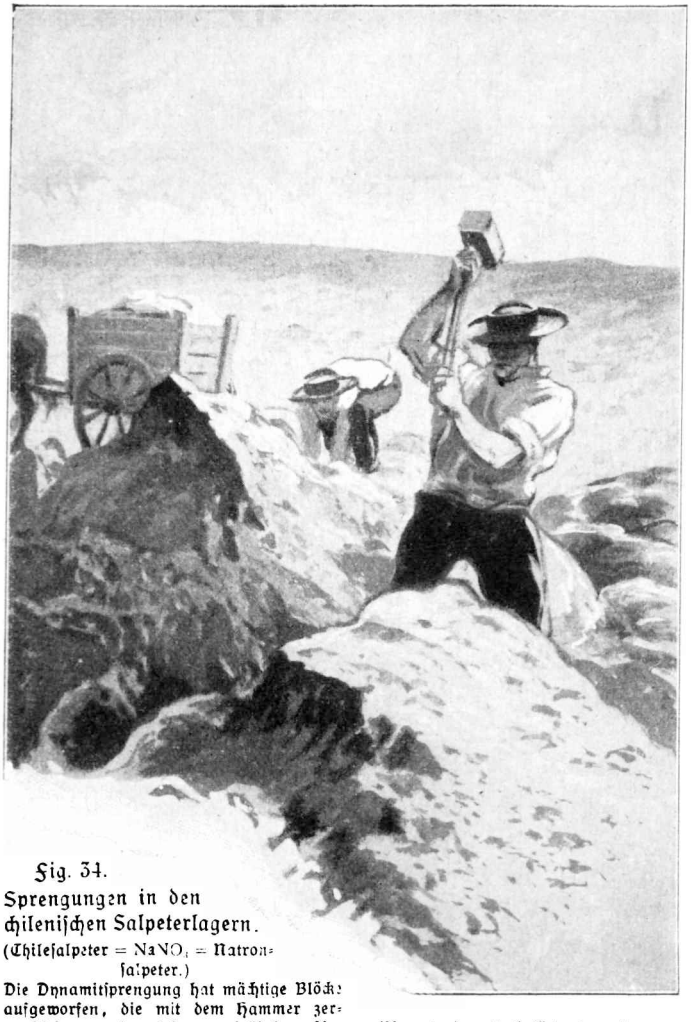


Fig. 34.
Sprengungen in den chileniſchen Salpeterlagern.
(Chileſalpeter = $NaNO_3$ = Natronſalpeter.)
Die Dynamitſprengung hat mächtige Blöcke aufgeworfen, die mit dem Hammer zerkleinert und auf den zweirädrigen Karren (Karreten) weiterbefördert werden.

Weiter aber hing bei dieser Entwicklung schließlich die Existenz aller Europäer von der Bereitwilligkeit der chilenischen Regierung ab, weiterhin Salpeter zu exportieren. Stickstoff hatte man in der Atmosphäre auch in Europa im Überfluß. Energie war zu jener Zeit, da man den elektrischen Ausbau der Wasserkräfte begann, ebenfalls vorhanden. Und so handelte es sich nur darum, geeignete Bindungsverfahren zu finden.

Die Natur zeigte einen Weg, der auch zunächst beschritten wurde. Man nahm den künstlichen Blitz, den elektrischen Hochspannungsfunken. Zwischen Metallelektroden ließ man den elektrischen Flammenbogen überspringen. Durch ein kräftiges magnetisches Feld wurde dieser Bogen zu einer flachen Flammenscheibe von mehr als 2 Meter im Durchmesser auseinandergezogen, und durch dieses 3000 Grad heiße elektrische Flammenfeld wurde ein geschlossener Luftstrom mit großer Geschwindigkeit hindurchgeblasen. Die einzelnen Luftteilchen werden dabei in Bruchteilen einer Sekunde auf 3000 Grad erhitzt und sehr schnell wieder abgekühlt. Die praktische Wirkung zeigt sich darin, daß die so elektrisierte Luft danach 2 Prozent Stickoxyd enthält. Das hier skizzierte Verfahren von Birkeland und Eyde kam besonders in Verbindung mit den norwegischen Wasserkräften zur Anwendung. Die elektrisierte Luft leitete man beim Verlassen des Ofens durch große, mit Kalklauge gefüllte Behälter. Hier bildete das Stickoxyd mit dem Wasser zunächst Salpetersäure, und schon im Augenblicke ihres Entstehens verband sich diese mit dem Kalzium der Kalklauge zu einem salpetersauren Kalksalz, dem sogenannten Norgesalpeter (Fig. 38).

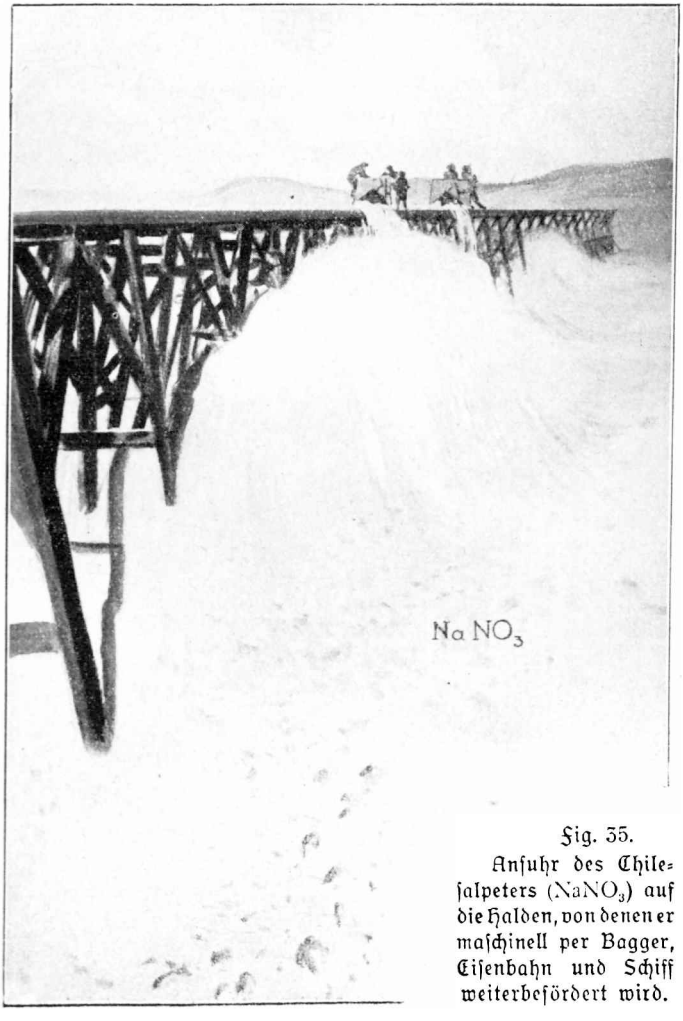


Fig. 35.
Anfuhr des Chilesalpeters ($NaNO_3$) auf die Halden, von denen er maschinell per Bagger, Eisenbahn und Schiff weiterbefördert wird.

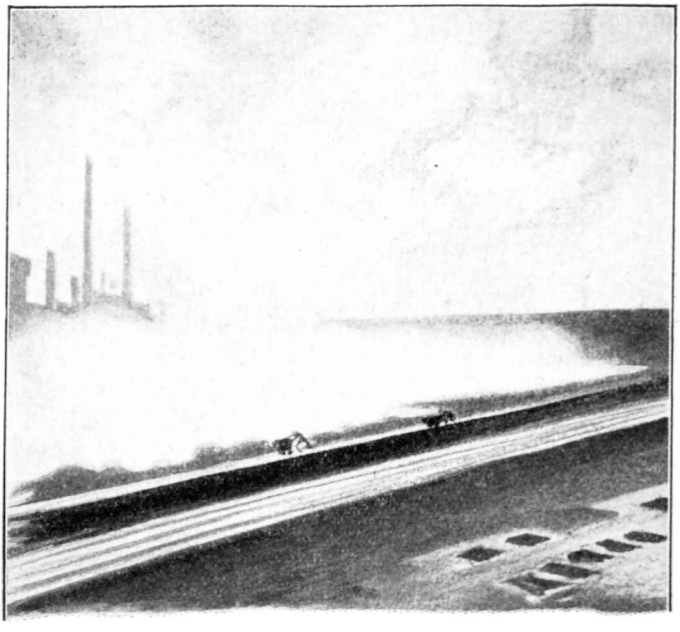


Fig. 36. In der deutſchen Salpeterfabrik.
Der Chileſalpeter (Natronſalpeter = $NaNO_3$) wird durch Behandlung mit den deutſchen Kaliſalzen in Kaliſalpeter K_2NO_3 umgewandelt.

Der Norgeſalpeter iſt ein vorzüglicher Kunſtdünger und wird auch heute noch an den ſkandinaviſchen Waſſerkräften in großen Mengen gewonnen. Zur Anwendung in Deutſchland eignete ſich dies Verfahren wegen ſeines großen Energieverbrauches aber nicht. Die Stickſtoffſauerſtoffverbindungen kommen nämlich zwar in der hohen Temperatur des Lichtbogens zuſtande, aber ſie zerfallen auch ebenſo leicht wieder bei dieſer Temperatur. Es muß ſich deshalb immer darum handeln, die gebildeten Verbindungen

so schnell wie möglich aus der Flammenzone herauszuholen. Vorbildlich arbeitet hier der natürliche Blitz, der nur wenige tausendstel Sekunden dauert, die Verbindung schafft, aber schon wieder verschwunden ist, bevor er sie zersetzen kann. Im Birkeland-Ofen dagegen ist der Wirkungsgrad viel schlechter, etwa 90 Prozent der wirklich gebildeten Stickstoffverbindungen zerfallen wieder, da sie nicht schnell genug abgekühlt werden können. Die deutsche Chemie hat deshalb andere Wege eingeschlagen, um die notwendigen Stickstoffmengen im eigenen Lande mit den hier verfügbaren Energiemengen zu binden, und sie hat dabei große Erfolge erzielt.

Das Stickoxyd ist nach der Formel NO zusammengesetzt. Da nun der Stickstoff entweder dreiwertig oder fünfwertig auftritt, so müssen wir annehmen, daß hier eine seiner Valenzen ungebunden bleibt. Etwas Derartiges wird nur selten beobachtet. Aber auch diese wenigen Fälle zeigen uns, daß die Valenztheorie, so glänzende Dienste sie uns namentlich in der Kohlenstoffchemie leistet, doch noch nicht völlig lückenlos ist. Auch die Struktur der übrigen Stickstoff-sauerstoffverbindungen zeigen zum Teil solche Schwierigkeiten. Außer dem Stickoxyd NO kennen wir das Stickoxydul N_2O, das Stickstofftrioxyd N_2O_3, das Stickstoffdioxyd NO_2, das Stickstofftetroxyd N_2O_4 und das Stickstoffpentoxyd N_2O_5. Alle diese gasförmigen Verbindungen sind endotherm und können explosionsartig zerfallen. Die in ihnen nicht gebundenen Stickstoffvalenzen machen sie zum Eingehen weiterer Verbindungen sehr geneigt. So bilden sie mit Wasser freiwillig Säuren, von denen fünf

bekannt sind, die unterſalpetrige Säure $H_2N_2O_2$, die Nitrohydroxylaminſäure $H_2N_2O_3$, die ſalpetrige Säure HNO_2, die Salpeterſäure HNO_3 und die Überſalpeterſäure HNO_4. Werden in dieſen Säuren die Waſſerſtoffatome durch Atome der halogenen oder ſalzbildenden Elemente verdrängt, ſo entſtehen die entſprechenden Salpeterſalze. Auch dieſe Verbindungen ſind immer noch mehr oder weniger endotherm und können unter geeigneten Umſtänden explosiv zerfallen. Ein Beiſpiel bietet das gewöhnliche Schießpulver, welches eine Miſchung von Kohle, Schwefel und einem Salpeterſalz iſt.

Die zweite große Gruppe der Stickſtoffverbindungen beruht auf der Vereinigung des Stickſtoffatoms mit Waſſerſtoffatomen. Die bekannteſte dieſer Verbindungen iſt das Ammoniak. Das Ammoniakmolekül beſteht aus einem Stickſtoffatom und drei Waſſerſtoffatomen. In dieſer Verbindung iſt der Stickſtoff dreiwertig, ſeine Valenzen ſind geſättigt, und dementſprechend ſtellt das Ammoniak eine für die Verhältniſſe des Stickſtoffes recht ſtabile und nicht explodierende Verbindung dar. Neben dem Ammoniak beſitzen die vier anderen heute bekannten Waſſerſtoff-ſtickſtoffverbindungen hauptſächlich theoretiſches Intereſſe, während das Ammoniak und ſeine zahlreichen Verbindungen für den Stickſtoffkreislauf in der Natur von größter Bedeutung ſind. Dieſe vier anderen Verbindungen ſind das Hydrazin N_2H_4, die Stickſtoffwaſſerſtoffſäure N_3H und die Verbindungen der Stickſtoffwaſſerſtoffſäure mit Ammoniak $NH_3 \cdot N_3H$ und mit Hydrazin $N_2H_4 \cdot N_3H$.

Das Ammoniak iſt ein ſtechend riechendes Gas, welches

vom Wasser gierig aufgesaugt wird. Diese wäßrige Lösung ist unter dem Namen Salmiakgeist wohlbekannt. Es ist das allgemein gebräuchliche Hausmittel gegen Mückenstiche. Während der Stickstoff im Ammoniak zweifellos dreiwertig ist, tritt er in dem einwertigen Radikal NH_4, dem Ammoniumradikal, fünfwertig auf. Die Bildung dieses Radikals aus dem Ammoniakmolekül muß man sich also in der Weise vorstellen, daß das Ammoniakmolekül, während sein Stickstoffatom aus dem dreiwertigen in den fünfwertigen Zustand übergeht, noch ein Wasserstoffatom aufnimmt. Das so entstehende Ammoniumradikal zeigt eine bemerkenswert feste Bindung seiner Atome und verhält sich durchaus wie ein einwertiges Metall. Es bildet nicht nur genau dieselben Verbindungen wie die einwertigen Metalle Kalium, Natrium

Fig. 37. Elektroofen mit Blasemagnet.
(Erste Versuchsanordnung von Siemens & Halske.)

usw., sondern es geht auch mit dem Quecksilber eine amalgamartige Verbindung ein, wodurch sein metallartiger Charakter besonders deutlich wird.

Bringt man Schwefelsäure von der Form H_2SO_4 mit einwertigen Metallen zusammen, so werden die beiden Wasserstoffatome derselben durch zwei Atome des betreffenden Metalls ersetzt, und es ergibt sich das entsprechende schwefelsaure Metallsalz, beispielsweise aus Kalium und Schwefelsäure das Kaliumsulfat K_2SO_4. Das gleiche geschieht, wenn man Ammoniakgas durch verdünnte Schwefelsäure hindurchleitet. Während dabei der Stickstoff fünfwertig wird, entreißt das Ammoniakmolekül der Schwefelsäure ein Wasserstoffatom, bildet mit diesem ein Ammoniumradikal und tritt sofort an Stelle dieses Wasserstoffatoms in das Schwefelsäuremolekül ein. So entsteht das schwefelsaure Salz des Ammoniums, das Ammoniumsulfat von der Form $(NH_4)_2SO_4$. Dies schwefelsaure Ammoniak ist nun aber ein äußerst wertvoller Stickstoffdünger. Es ist der schärfste Konkurrent des Salpeterdüngers, und aus Gründen, die nachstehend dargelegt werden, dürfte es den Salpeterdünger allmählich immer mehr verdrängen.

Der Chilesalpeter ist ein Natronsalpeter von der Form $NaNO_3$. Man kann ihn als das Natriumsalz der Salpetersäure HNO_3 definieren, indem in dieser ein Kaliumatom an Stelle des Wasserstoffatoms getreten ist. Bei der Zersetzung und weiteren Verarbeitung des Chilesalpeters im Ackerboden bleibt nun notwendigerweise das Natrium in Form irgendwelcher Natronsalze zurück. Im allgemeinen ist aber unser Ackerboden mit Natronsalzen bereits über-

reichlich versehen und versalzen, während ihm das für das Pflanzenleben so unentbehrliche Kalium fehlt. Unter Zuhilfenahme der in Deutschland selbst gefundenen Kaliverbindungen, insbesondere des Sylvins von der Form KCl, pflegt man den Chilesalpeter daher vor dem Verbrauch erst in einen Kalisalpeter umzuwandeln. Man bringt den in Wasser aufgelösten Natronsalpeter mit einer Chlorkalilösung zusammen. Dabei findet ein Austausch der beiden Alkalimetalle Kalium und Natrium statt. Aus dem Chlorkalium KCl wird Chlornatrium ClNa oder Kochsalz, aus dem Natronsalpeter $NaNO_3$ ein Kalisalpeter KNO_3. Mit diesem Dungstoff bekommt der Acker dann gleichzeitig Kali und Stickstoff.

Es ist aber nicht uninteressant, einmal zu untersuchen, wieviel Gewichtsprozente Stickstoff der Kalisalpeter im günstigsten Falle enthalten kann. Auf Grund der Atomgewichte läßt sich das leicht feststellen. Das Molekül des Kalisalpeters enthält 1 Atom Kali mit dem Atomgewicht 40, 1 Atom Stickstoff mit dem Atomgewicht 14 und 3 Atome Sauerstoff mit dem Gesamtatomgewicht $3 \times 16 = 48$. In einer Salpetermenge von dem Gewichte $40 + 14 + 48 = 102$ befinden sich demnach nur 14 Gewichtsteile Stickstoff. Auf Prozente umgerechnet, bedeutet dies, daß reiner Kalisalpeter 13,7 Gewichtsprozente Stickstoff besitzt. Die gleiche Rechnung läßt sich auch für das schwefelsaure Ammonium aufmachen. Das Molekül dieses Salzes enthält 4 Sauerstoffatome mit dem Gesamtgewicht $4 \times 16 = 64$, 1 Schwefelatom mit dem Gewicht 32, 8 Wasserstoffatome mit dem Gewicht $8 \times 1 = 8$ und 2 Stickstoffatome mit dem Gewicht 2×14

= 28. In 132 Gewichtsteilen enthält reines Ammoniumsulfat demnach 28 Gewichtsteile Stickstoff, oder umgerechnet, Ammoniumsulfat hat 21,2 Gewichtsprozente Stickstoff.

Schon dieser höhere Stickstoffgehalt machte das Ammoniumsulfat zu einem besonders wertvollen Dungstoff,

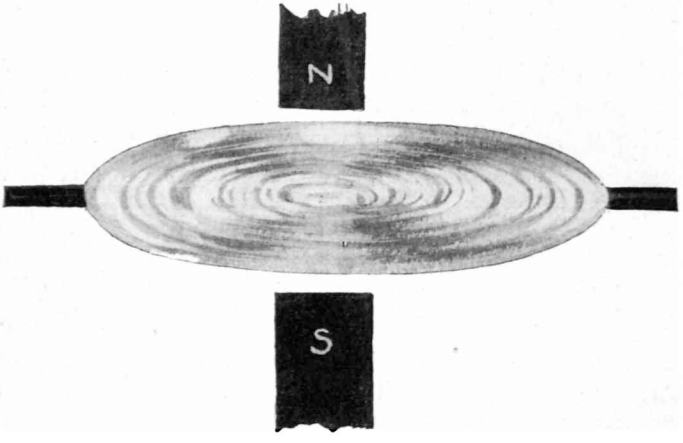


Fig. 38. Anordnung in den neueren norwegischen Salpeteröfen.
Der Wechselstromlichtbogen zwischen den wagerechten Elektroden wird durch die Blasmagneten N–S zu einer gewaltigen glühenden Scheibe von mehr als 1 m Durchmesser auseinandergezogen.

und man war deshalb immer mehr bemüht, das Ammoniak, wo immer es auftrat, zu fangen, an Schwefelsäure zu binden und der Landwirtschaft zuzuführen. Ammoniakgas wurde aber besonders bei der Verkokung von Steinkohle frei. Die Eiweißverbindungen der vorzeitlichen Pflanzenkörper, die im Laufe unendlicher Zeiträume die Steinkohle bildeten, waren schon bei dieser Kohlebildung in einfachere

Stickstoffverbindungen zerfallen und lieferten schließlich in der Rotglut der Kokereiretorten einfache Ammoniakmoleküle. Das bei der Verkokung auftretende Steinkohlengas wird nun aber zum Zwecke der Reinigung mehrfach und kräftig gewaschen. Das Waschwasser schluckt natürlich begierig jedes Ammoniakmolekül, und so entstehen die bekannten Ammoniakwässer der Gasanstalten. Aus ihnen läßt sich durch Zufügung von Schwefelsäure das schwefelsaure Ammonium leicht gewinnen.

Die Entwickelung in dieser Richtung begann bereits in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts. Im Jahre 1895 wurden in deutschen Kokereien und Gasanstalten schon 80000 Tonnen schwefelsaures Ammonium gewonnen. 1913, in dem letzten Jahre vor dem Weltkriege, war diese Zahl auf 460000 Tonnen gestiegen, wovon 400000 Tonnen von der Landwirtschaft aufgenommen, 60000 Tonnen von der chemischen Industrie, insbesondere von der Farbstoffindustrie, weiterverarbeitet wurden. Mit diesen 400000 Tonnen Ammoniumsulfat, die bei rund 20 Prozent Stickstoffgehalt 80000 Tonnen Stickstoff enthielten, und mit den im gleichen Jahre im Chilesalpeter eingeführten 100000 Tonnen Stickstoff war aber der Stickstoffhunger der deutschen Landwirtschaft noch längst nicht befriedigt. Auch die etwa 20000 Tonnen Stickstoff, die in Form von Norgesalpeter und dem später noch genauer zu besprechenden Kalkstickstoff hinzukamen, reichten nicht aus. Es war unbedingt notwendig, noch stärker fließende Stickstoffquellen zu erschließen, und schon vor dem Weltkriege war diese Entwicklung in vollem Gange.

Ebenso wie man durch das elektrische Lichtbogenverfahren den Sauerstoff und Stickstoff zusammenschweißte, konnte man es ja auch versuchen, den Wasserstoff und Stickstoff unmittelbar in eine Ammoniakverbindung zu zwingen. Energetisch mußte dies Verfahren von Anfang an sehr viel günstiger erscheinen, als jedes Salpeterverfahren. Während nämlich alle Stickstoffsauerstoffverbindungen endotherm sind, also starke Energiezufuhr erfordern, ist die Ammoniakverbindung schwach exotherm, müßte also theoretisch wenigstens ohne jene gewaltigen Energiemengen herzustellen sein, durch die alle Salpeterverfahren so kostspielig werden. Unter den zahlreichen Chemikern, die sich nun mit der Ammoniaksynthese beschäftigten, muß als der bei weitem erfolgreichste der deutsche Forscher Geheimrat Haber genannt werden. Seine Arbeiten führten schon vor dem Kriege zu dem besonders von der Badischen Anilinfabrik weiterentwickelten Ammoniakverfahren, welches im Weltkriege die wertvollsten Dienste leistete.

Die Elemente Wasserstoff und Stickstoff vereinigen sich freiwillig zu Ammoniak, wenn eine gewisse Temperatur und ein gewisser Druck vorhanden sind und außerdem noch ein sogenannter Katalysator oder Kuppelstoff durch seine Gegenwart wirkt. In jahrelangen Forschungen ermittelte Haber, daß die günstigsten Temperaturen und Drucke bei etwa 500 Grad Celsius und 100 Atmosphären lagen, während feinverteiltes Uranmetall einen guten Katalysator abgab. Bei diesen Verhältnissen konnten sich in dem Wasserstoffstickstoffgemenge 10,8 Prozent Ammoniak bilden, bevor der Gleichgewichtszustand erreicht war, neugebildetes Am-

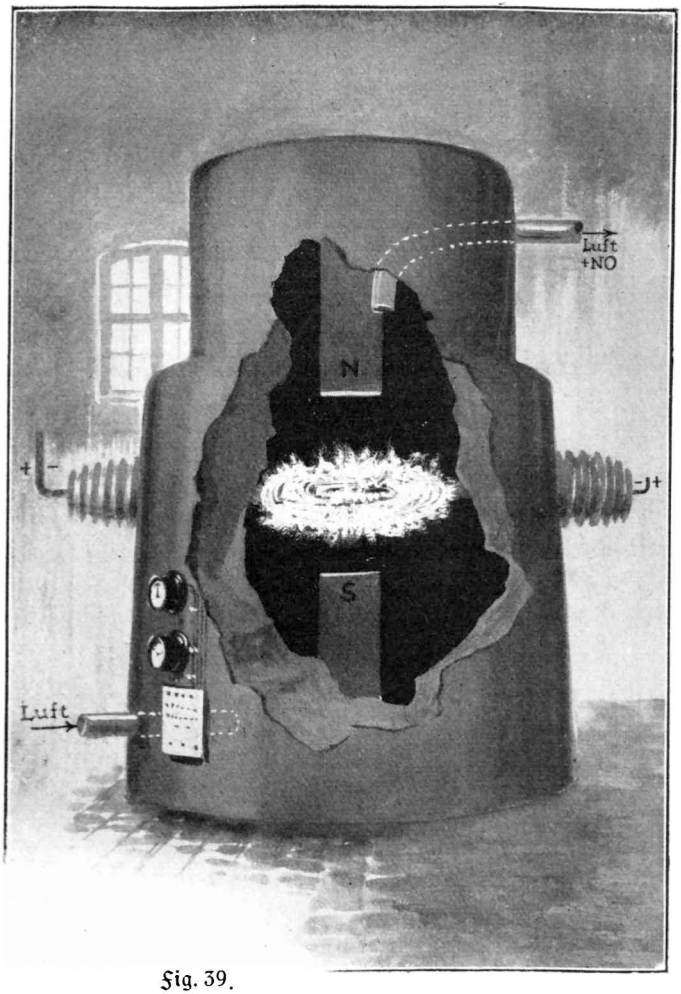


Fig. 39.
Großer Lichtbogenofen für die Bindung des Luftstickstoffes.

moniak also im gleichen Tempo wieder zerfiel, in welchem es entstand. Es genügte, das Stickstoffwasserstoffgemenge mit mäßiger Geschwindigkeit unter den angegebenen Temperatur- und Druckverhältnissen an dem Katalysator vorbeizuführen, um diese günstigste 10prozentige Anreicherung zu erhalten.

Viel bedeutender waren die technischen Schwierigkeiten. 500 Grad Celsius ist bereits die Temperatur der beginnenden Rotglut, bei der die Festigkeit aller Metalle recht bedeutend nachläßt. Es bedurfte daher besonderer Kunstgriffe, um Gefäße und Röhrensysteme zu schaffen, welche der gleichzeitigen Einwirkung dieser Temperaturen und Drucke gewachsen waren. Eine Quelle weiterer Schwierigkeiten bildete der Katalysator. Es ergab sich, daß er gegen „Vergiftungen" durch äußerst geringfügige Zufuhr bestimmter Stoffe, wie beispielsweise des Arsens, äußerst empfindlich war. Wollte man einen zuverlässigen und rationell arbeitenden Betrieb erreichen, so mußten deshalb die Rohstoffe des Verfahrens, Stickstoff und Wasserstoff, auf das sorgfältigste von diesen Katalysatorgiften freigehalten werden. Es gelang namentlich durch vorherige Ausscheidung des Arsenwasserstoffes, der sich spurenweise immer in dem aus Steinkohlen gewonnenen Wassergas zu finden pflegt, und schon vor dem Kriege kam die Ammoniaksynthese nach dem Haber-Verfahren in Deutschland in großem Stile zur Ausführung.

Während des Krieges selbst waren diese synthetischen Stickstoffverbindungen für das von aller Zufuhr abgeschnittene Deutschland von größter Wichtigkeit. Nur mit ihrer Hilfe

konnten die ungeheuren in den Schlachten des Weltkrieges verbrauchten Sprengſtoffmengen hergeſtellt werden. Von gleicher Wichtigkeit waren ſie aber auch für die Ernährung des deutſchen Volkes. Dabei wurde durch die Not des Krieges auch eine Erfindung gezeitigt, die beſondere Er=

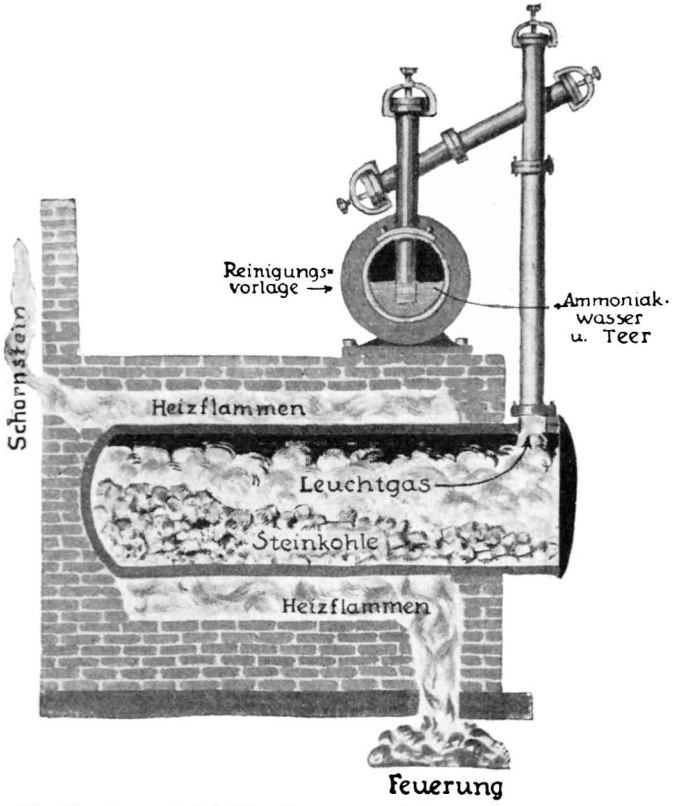


Fig. 40. Ammoniak (NH_3)=Gewinnung bei der Vergaſung der Steinkohle.

wähnung verdient. Es wurde bereits gesagt, daß die Pflanze imstande ist, die einfachen Stickstoffverbindungen, wie Salpetersalze und Ammoniumsulfat, aufzunehmen und zu assimilieren, d. h. daraus Pflanzeneiweiß aufzubauen. Dagegen vermag der tierische und menschliche Organismus mit diesen einfachen Verbindungen nichts anzufangen. Sie müssen erst durch den Pflanzenkörper gehen, bevor sie für die Ernährung von Menschen und Tieren in Betracht kommen können. Die Chemie war ihrerseits noch nicht so weit, solche Eiweißstoffe in der Retorte herzustellen. Wohl aber war die Biologie in der Lage, einfachste Lebewesen, besondere Spaltpilze oder Bakterien zu züchten, die dem Chemiker vorläufig die Eiweißsynthese abnehmen konnten.

Das Bewundernswerte dabei liegt in dem Umstande, daß der Mensch hier gewissermaßen als Schöpfer auftritt, daß er ganz neue, bis dahin noch nicht vorhandene Organismen züchtet, die unter ganz bestimmten vorgeschriebenen Bedingungen leben und für ihn arbeiten. Die während des Krieges gezüchteten Eiweißbakterien lebten auf einem Nährboden, der aus schwefelsaurem Ammonium, Rübenzucker und Wasser bestand. Von den fünf Bausteinen des Eiweißes: Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Schwefel, fanden sie den Schwefel und Stickstoff in einer ihnen zusagenden Form im schwefelsauren Ammonium, die drei anderen Stoffe im Zucker, der ja ein Kohlehydrat ist.

So bauten sie aus diesen ihnen in dem Nährboden gegebenen Stoffen bei einem äußerst üppigen Wachstum Eiweiß auf, welches sich als gut geeignet für die menschliche Ernährung erwies. Im Verlaufe weniger Tage war der

mit einer Kultur dieser Bakterien geimpfte Nährboden verzehrt, dafür aber war die Bakterienmenge entsprechend vergrößert, und die Körper dieser Bakterien bestanden ausschließlich aus gutem Eiweiß. Das Ganze war eine praktisch und wirtschaftlich lohnende Eiweißsynthese mit biologischen Hilfsmitteln. Der Prozeß ging schnell und ohne Verluste vonstatten. Stickstoff, der heute noch frei in der Atmosphäre flutete, und Schwefel, der noch in der Schwefelsäure steckte, konnten bereits am nächsten Tage mit Kohlenstoff und Wasser Eiweißmoleküle bilden. Geopfert mußte dabei ein aus der Pflanzenwelt stammendes Nahrungsmittel werden, nämlich Rübenzucker. Aber als reines Kohlehydrat hat der Zucker nur Heizwert, während das auf dem hier geschilderten Wege aus ihm gewonnene Eiweiß ein Nahrungsmittel ist, welches nicht nur als Heizmittel, sondern auch als Mittel zum Aufbau neuer Körperzellen wirkt. Darin lag die große Bedeutung dieses Verfahrens.

Neben den beiden Wegen, den Luftstickstoff an den Sauerstoff oder an den Wasserstoff zu binden, muß auch noch ein dritter, viel benutzter Weg besprochen werden. Es ist das sogenannte Kalkstickstoffverfahren, welches namentlich vor der Erfindung Habers das einzige in Deutschland selbst in Frage kommende Verfahren war. Dies Verfahren braucht mehr Energie als das Habersche Ammoniakverfahren, aber doch nicht solche Energiemengen wie das Lichtbogensalpeterverfahren. Der Ausgangsstoff ist hierbei das Kalziumkarbid, eine Verbindung des Kalziummetalls und des Kohlenstoffs von der Form CaC_2. Das Kalziumkarbid wird im elektrischen Ofen bei einer Temperatur von

3000 Grad unmittelbar aus Koks und Kalk zusammengeschmolzen. Es verlohnt sich, an diesem Beispiel einmal die Abhängigkeit der chemischen Verwandtschaften von der Temperatur zu beobachten.

Wir gehen von drei Stoffen aus, dem Kohlenstoff, dem Sauerstoff und einem Metall. Bei gewöhnlicher Raumtemperatur von 15 Grad Celsius herrscht eine merkliche Verwandtschaft zwischen den meisten Metallen und dem Sauerstoff. Ihre blanke Oberfläche beschlägt sich infolge von Oxydbildung verhältnismäßig schnell. Dagegen bleibt der Kohlenstoff bei dieser Temperatur Jahre hindurch unverändert. Erhöhen wir aber die Temperatur bis zur beginnenden Rotglut, so zeigt auch der Kohlenstoff eine starke Verwandtschaft zum Sauerstoff, die bei noch weiterer Temperaturerhöhung stärker wird als diejenige zwischen dem Metall und dem Sauerstoff. Aus diesem Grunde wirkt der Kohlenstoff bei heller Rotglut auf die Metalle reduzierend. Er entreißt etwa vorhandenem Metalloxyd den Sauerstoff und verbrennt damit zu Kohlensäure. Wieder anders werden aber die Verhältnisse, wenn wir die Temperatur noch höher, bis auf 3000 Grad, steigern. Dann zeigt sich eine starke Verwandtschaft zwischen dem Kohlenstoff und dem Metall. Der Kohlenstoff bildet mit diesem Metallkarbid, und nur bei einem Überschuß von Kohlenstoff kommt der Sauerstoff noch in die Lage, mit diesem Kohlensäure zu bilden. Auf diesen mit steigender Temperatur wechselnden Verwandtschaften der Elemente beruht die Kalziumkarbidgewinnung im elektrischen Ofen.

Das Kalziumkarbid wird nun fein gemahlen, danach

auf helle Rotglut erhitzt, während man Stickstoff in die glühende Masse hineinleitet. Dabei wird aber der sonst so träge Stickstoff bemerkenswerterweise aktiv. Er wandert in das Kalziumkarbidmolekül ein und bildet Kalziumzyanamid. Dabei fällt ein Kohlenstoffatom heraus, so daß schließlich ein Gemisch von Kalziumzyanamid und Kohlenstoff vorhanden ist, eine Masse, die in der Landwirtschaft unter der einfacheren Bezeichnung Kalkstickstoff als wertvolles Düngemittel eine große Bedeutung hat. Der chemische Vorgang zwischen dem rotglühenden Kalziumkarbid und dem Stickstoff vollzieht sich dabei nach der folgenden chemischen Gleichung:

$$\underset{\text{Kalziumkarbid}}{CaC_2} + \underset{\text{Stickstoff}}{N_2} = \underbrace{\underset{\text{Kalziumzyanamid}}{CaCN_2} + \underset{\text{Kohlenstoff}}{C}}_{\text{Kalkstickstoff}}.$$

Der Kalkstickstoff kommt im Ackerboden mit dem Regenwasser in Berührung, und alsbald setzt eine neue Reaktion ein, bei welcher der Kalkstickstoff nach der nachstehenden Formel in kohlensauren Kalk und in Ammoniak zerfällt:

$$\underset{\text{Kalkstickstoff}}{CaCN_2} + \underset{\text{Wasser}}{3\,H_2O} = \underset{\text{Kohlensaurer Kalk}}{CaCO_3} + \underset{\text{Ammoniak}}{2\,NH_3}.$$

Das Ammoniak wird dabei zunächst von dem Wasser festgehalten und geht weiterhin mit den im Ackerboden vorhandenen Mineralien Ammoniumverbindungen ein, die von den Pflanzen gut verarbeitet werden. Im Wege der natürlichen Entwicklung wirkt also der Kalkstickstoff schließlich als Ammoniakdünger ganz ähnlich wie das Ammoniumsulfat. Während dieses neben dem Stickstoff dem Ackerboden auch noch den für den Aufbau von Eiweißen unentbehr-

lichen Schwefel zuführt, bringt der Kalkſtickſtoff den ebenfalls unentbehrlichen Kalk in den Boden. Das Verhalten des Kalkſtickſtoffs im Ackerboden iſt bemerkenswert, weil man bei dem Worte Zyanamid unwillkürlich an Zyankali und ſonſtige ſehr giftige Verbindungen denkt.

In der Tat lernen wir im Kalkſtickſtoff als einem Teil ſeines Molekülſ das Zyanradikal kennen. Es iſt nach der Form —C⁼N zuſammengeſetzt. Der vierwertige Kohlenſtoff hält mit drei Valenzen den dreiwertigen Stickſtoff und behält eine Valenz frei. Das Zyan iſt alſo ebenſo wie das Ammonium ein einwertiges Radikal. Es iſt ſehr haltbar und benimmt ſich, genau wie das Ammonium, in den verſchiedenen Verbindungen durchaus wie das Atom eines einwertigen Elementes. Man bringt dies auch vielfach äußerlich zum Ausdruck, indem man es in ſeinen Verbindungen nicht als CN, ſondern als Cy bezeichnet, als ob es ein Element mit dem Namen Zyan wäre.

Mit dem Waſſerſtoff verbindet ſich das Zyan nach der Formel HCN zu einer Säure, die unter dem Namen Blauſäure als eins der ſtärkſten Gifte bekannt iſt. Die Blauſäure tötet nicht nur tieriſche, ſondern auch pflanzliche Organismen ſchnell und gründlich. Würde alſo der Kalkſtickſtoff bei ſeiner Zerſetzung im Ackerboden auch nur Spuren von Blauſäure entwickeln, ſo wäre er als Dungſtoff unmöglich. An Stelle des Waſſerſtoffs kann an das Zyanradikal natürlich auch irgendeins der einwertigen Alkalimetalle herantreten, und ſo entſtehen die ebenfalls ungemein giftigen Zyanſalze, wie Zyankalium und Zyannatrium. Dieſe Salze werden für manche induſtriellen Zwecke be-

nötigt. Gingen doch die Arbeiten, die schließlich zur Herstellung des Kalkstickstoffes führten, ursprünglich von der Absicht aus, Zyankali in großem Maßstabe und möglichst billig herzustellen.

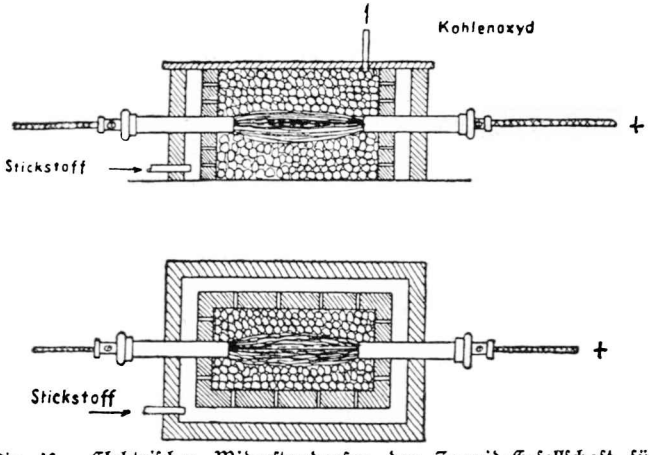


Fig. 41. Elektrischer Widerstandsofen der Zyanid-Gesellschaft für direkte Kalk-Stickstoff-Gewinnung.

Während die Landwirtschaft nicht mehr als 1 Mark für das im Stickstoffdünger gebundene Kilogramm Stickstoff zahlt, ist die Industrie in der Lage, bis zu 8 Mark auszugeben, sofern der Stickstoff in der gewünschten Verbindung geliefert wird. Es ist begreiflich, daß die Chemie daher besonders eifrig bemüht war, die Wünsche der Zyankali benötigenden Industrien zu erfüllen. Der Kalkstickstoff hat sich dabei als recht wertvoll erwiesen. Es genügt, ihn mit Kochsalz zusammenzuschmelzen, um seinen gesamten Zyangehalt in Zyannatrium überzuführen. Das Zusammen-

schmelzen mit einem Kalisalz liefert entsprechend Zyankali. Die Laugen dieser Salze waren bis um die Jahrhundertwende eigentlich nur für photographische und galvanoplastische Zwecke in Gebrauch. Der Bedarf war daher nicht allzu groß. Dann aber änderten sich die Verhältnisse infolge der südafrikanischen Mineninduſtrie.

Die Goldgewinnung in Südafrika erfolgt aus dem Urgestein. Während die Goldwäscher anderer Länder hauptsächlich alluviales Gold suchen, das vom Wasser bereits aus seinem Urgestein herausgewaschen ist, verarbeitet man in Südafrika gerade dies Urgestein, einen harten, quarzhaltigen Felsen. Da das Gold in Form feinster Stäubchen in den Fels eingesprengt ist, so muß das ganze Gestein möglichst fein zerpocht werden. Danach ist das Gold aus dem sandförmigen Pochgut herauszuziehen. Man benutzte dazu Quecksilber, über welches das Pochgut mit Wasser hinweg geschwemmt wird. Soweit die Goldstäubchen dabei mit dem Quecksilber in Berührung kommen, verbinden sie sich mit ihm zu Goldamalgam und bleiben in ihm haften. Aber auch bei den besten Einrichtungen kommen nicht alle Goldstäubchen mit dem Quecksilber in Berührung.

Man verarbeitet in Südafrika goldführendes Gestein bis hinab zu etwa 12 Gramm Gold in der Tonne Pochgut. Aber davon bleiben auch bei bester Amalgamierung immer noch 1 bis 2 Gramm in dem Pochgut zurück. So hatten sich im Laufe der Jahre ganze Berge von verarbeitetem Pochgut, die sogenannten Sande und Schlamme aufgehäuft, von denen man wußte, daß sie noch sehr erhebliche Goldmengen enthielten. Hier bot nun die Zyankalilauge das geeignete

Mittel. Läßt man diese Lauge durch die Sande und Schlamme laufen, so löst sie das darin enthaltene Gold fast bis auf die letzten Spuren auf und führt es mit sich. Bringt man später Zinkspäne in die Lauge, so schlägt sich das Gold auf diesen nieder und kann im Schmelzofen leicht gewonnen werden. So begann man denn Millionen von Kubikmeter dieser Sande mit Zyankalilauge zu bearbeiten, gewann dabei tonnenweis Gold, was sonst verloren gewesen wäre, brauchte aber auch riesenhafte Zyankalimengen. Auf dem Wege über den Kalkstickstoff wurden diese Mengen wirtschaftlich erzeugt, und vor dem Kriege war Deutschland der Hauptlieferant dafür nach Südafrika.

Betrachtet man die Entwicklung der Stickstoffchemie während der letzten 30 Jahre, so kann man geradezu von einer Geschichte dieses Elementes sprechen: Die europäischen Staaten erkennen in den letzten Jahren des vorigen Jahrhunderts die Notwendigkeit, sich vom amerikanischen Salpeter unabhängig zu machen. Europa selbst verfügt aber über natürliche Stickstoffverbindungen fast gar nicht. So muß man zum reinen Stickstoff der Atmosphäre greifen. Die skandinavischen Länder mit ihren überreichen Wasserkräften taten dies als die ersten unter Benutzung der Lichtbogenverfahren. In Deutschland war jedoch etwas Derartiges ausgeschlossen, und so beginnt hier die Suche nach anderen, wirtschaftlicheren, Wegen und führt auf der einen Seite zum Haberschen Ammoniakverfahren, auf der anderen Seite zum Kalkstickstoff und den Zyanverbindungen.

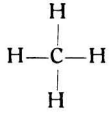
Der Weltkrieg stört zunächst die reine Forschungsarbeit, aber die sofortige energische Ausnutzung des bereits Er-

fundenen setzt Deutschland in die Lage, vier Kriegsjahre hindurch seinen Stickstoffbedarf im eigenen Lande zu decken. Im Lande selbst entstehen riesenhafte Kalkstickstoff- und Ammoniakwerke, die den Munitionsfabriken phantastische Mengen von stickstoffhaltigen Sprengstoffen liefern und den Stickstoffbedarf der Landwirtschaft decken. Als die bekanntesten dieser Kriegswerke mögen nur die Leunawerke bei Merseburg genannt werden.

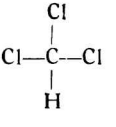
Nach Kriegsende stehen alle diese Werke da. Für die Sprengstoffabrikation kommen sie, wenigstens zurzeit, nicht in Frage. Desto wertvoller sind ihre Leistungen und Lieferungen dagegen für die Landwirtschaft. Mit ihrer Hilfe wird es möglich, in den Nachkriegsjahren eine intensive Bodenkultur zu treiben, durch die auch das verkleinerte und seiner besten Getreideländer beraubte Deutschland den bei weitem größten Teil seines Nahrungsbedarfes im Inlande zu decken vermag. Soweit ist die Entwicklung gegenwärtig gediehen. Aber die Geschichte der Stickstoffchemie ist längst noch nicht abgeschlossen. Die Versuche, auf wirtschaftlichstem Wege vom Luftstickstoff zum eiweißhaltigen Futtermittel zu gelangen, werden auch heute fortgesetzt und lassen baldige Erfolge erhoffen.

Etwas Kohlenſtoffchemie

Wir lernten den Kohlenſtoff als ein vierwertiges Element kennen und ſtellten auch bereits feſt, daß ein Atom Kohlenſtoff ſich mit dem Waſſerſtoff nur in der Weiſe verbinden kann, daß jede der vier Kohlenſtoffvalenzen ein einwertiges Waſſerſtoffatom bindet. So entſteht die Verbindung CH_4, das Methan- oder Sumpfgas:

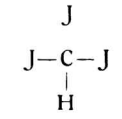


Es leuchtet wohl auch ein, daß an Stelle des einwertigen Waſſerſtoffs irgendein anderes einwertiges Element treten kann. Der Chemiker bezeichnet eine ſolche Stellvertretung oder einen ſolchen Erſatz als Subſtitution. So kann man beiſpielsweiſe im Methan drei Waſſerſtoffatome durch drei Atome des ebenfalls einwertigen Chlors erſetzen und erhält dann einen Körper, deſſen empiriſche Formel $CHCl_3$ lautet, während ſeine Strukturformel wie folgt ausſieht:



Dieſer ſo entſtandene Körper iſt nun aber kein Gas mehr, ſondern eine betäubende Flüſſigkeit und unter dem Namen Chloroform wohl bekannt. An Stelle des einwertigen Chlors kann aber auch das ebenfalls einwertige

Jod treten. Geſchieht dies für drei Waſſerſtoffatome des Methans, ſo haben wir das Jodoform, jenes bekannte gelbe, ſtark riechende Pulver mit der Strukturformel



Im allgemeinen gilt der Grundſatz, daß in einer chemiſchen Verbindung irgendein einwertiges Atom immer durch das Atom irgendeines beliebigen anderen einwertigen Elementes erſetzt werden kann. Im Methan können ſo der Reihe nach alle Waſſerſtoffatome durch Chloratome erſetzt werden, ſo daß man ſchließlich zu einem Stoff von der Formel CCl_4 gelangt, dem Tetrachlorkohlenſtoff. Die Kunſt der modernen Farbſtoffchemie beſteht zu einem beträchtlichen Teile darin, bei gegebenen Kohlenwaſſerſtoffverbindungen des Steinkohlenteers ſolche Subſtitutionen vorzunehmen. Welche einſchneidenden Änderungen dabei die Subſtitution auch nur weniger Atome hervorrufen kann, ergibt ſich wohl ſchon zur Genüge bei der Betrachtung der drei Stoffe: Sumpfgas, Chloroform und Jodoform. In der Teerchemie bewirken dieſe Subſtitutionen beſonders prächtige Farbenerſcheinungen und verwandeln irgendein unſcheinbares graues oder weißes Salz im Augenblick in einen leuchtenden Farbſtoff. Im Intereſſe einer guten Überſicht wollen wir im folgenden zunächſt von derartigen Subſtitutionen abſehen und nur die Verbindungen des vierwertigen Kohlenſtoffs mit dem einwertigen Waſſerſtoff, die Kohlenwaſſerſtoffe, betrachten.

Fig. 42.

Vorbereitungen zur Herſtellung räumlicher Molekülmodelle.

Eine Glasperle mit einer Spitze (Modell eines einwertigen Atoms) ſoll in Gips abgegoſſen werden. Eine Zigarrenkiſte wird in zwei gleiche Hälften zerſchnitten. Ein Krug mit flüſſigem Gipsbrei wird vorbereitet.

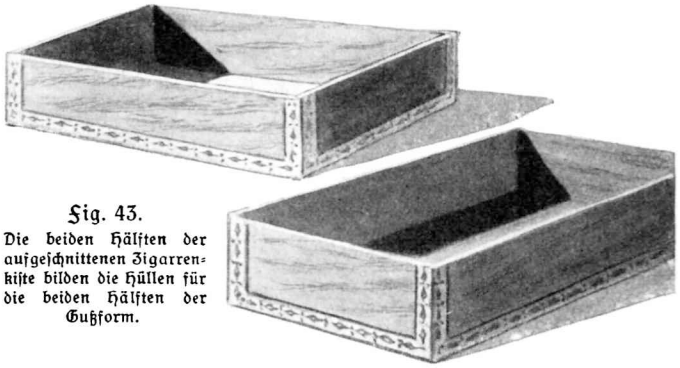
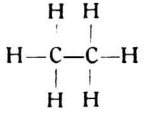


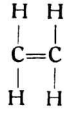
Fig. 43.
Die beiden Hälften der aufgeſchnittenen Zigarrenkiſte bilden die Hüllen für die beiden Hälften der Gußform.

Wir nehmen nun zwei Kohlenſtoffatome und wollen verſuchen, was ſich aus dieſen und dem erforderlichen Waſſerſtoff zuſammenbauen läßt. Wenn die beiden Kohlenſtoffatome ſich je eine Hand reichen, ſo behält jedes derſelben noch drei freie Valenzen; wir können alſo im ganzen ſechs Waſſerſtoffatome anhängen und erhalten einen Körper von der Formel C_2H_6. Der ſo gewonnene Kohlenwaſſerſtoff



iſt ebenfalls ein Gas und als Äthan bekannt. Aber mit dem Äthan ſind die möglichen Kohlenwaſſerſtoffverbindungen, die man mit zwei Kohlenſtoffatomen aufbauen kann, noch nicht erſchöpft. Wir können ja auch annehmen, daß die beiden Kohlenſtoffatome ſich je zwei Hände reichen, jedes Atom alſo nur noch zwei Hände frei behält, ſo daß wir nur noch vier Waſſerſtoffatome anfügen können. So entſteht ein Körper C_2H_4, ebenfalls ein Gas, das unter dem

Namen Äthylen bekannt iſt, ſowohl im Leuchtgas als auch im Rohpetroleum vorkommt und die nachſtehende Strukturformel beſitzt:



Bedient man ſich der bereits erwähnten Atommodelle und benutzt dabei für den Kohlenſtoff das reguläre Tetraeder, ſo hängen im Modell des Äthanmolekülſ (Fig. 54) die beiden Kohlenſtofftetraeder mit je einer Spitze zuſammen und tragen an den ſechs freien Ecken die ſechs Waſſerſtoffmoleküle. Dagegen hängen ſie beim Modell des Äthylenmolekülſ (Fig. 55) mit je einer Kante zuſammen und tragen an den vier freien Ecken vier Waſſerſtoffmoleküle. Es muß nun aber auch noch möglich ſein, die beiden Kohlenſtofftetraeder mit je einer Fläche aufeinander zu

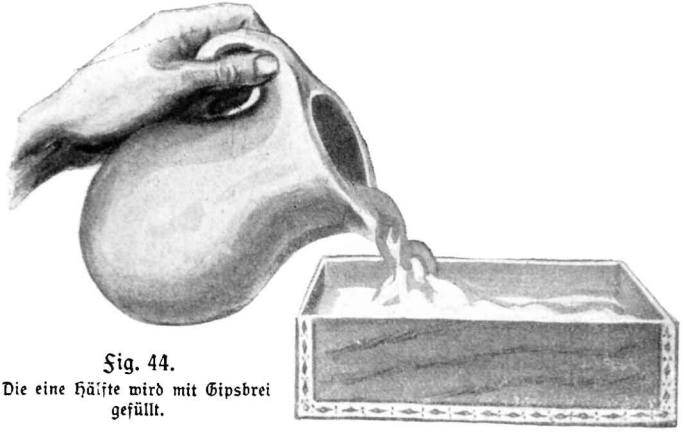


Fig. 44.
Die eine Hälfte wird mit Gipsbrei gefüllt.

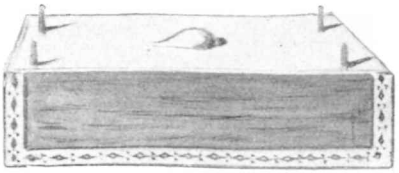


Fig. 45.
In die Gipsfläche werden vor dem Erhärten vier Stäbchen an den Ecken der Kiſte eingeſteckt. In der Mitte der Fläche wird die Glasperle genau bis zur Hälfte eingebettet.

ſetzen, ſo daß ſie ſich nun mit je drei Valenzen binden und im ganzen nur noch zwei Ecken für zwei Waſſerſtoffatome frei bleiben. So entſteht ein Körper von der empiriſchen Formel C_2H_2 oder der Strukturformel H—C≡C—H. Es iſt ebenfalls ein Gas, und zwar das Azetylengas. (Fig. 56)

Wir haben nun Grund zu der Annahme, daß ein Kohlenſtoffatom einem anderen Kohlenſtoffatom nur mangels

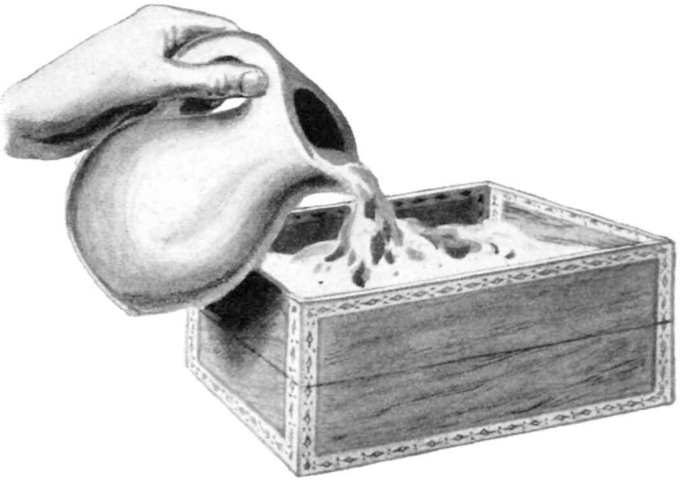


Fig. 46.
Nach dem Erhärten des Gipſes in der erſten Formhälfte wird er mit Öl oder Petroleum getränkt, die zweite Formhälfte wird aufgeſetzt und ebenfalls mit flüſſigem Gipsbrei gefüllt.

angenehmerer Geſellſchaft mehr als eine Hand gibt. Beim Äthan wurde tatſächlich nur eine Hand gegeben, alle anderen Hände konnten Waſſerſtoff greifen, und deshalb bezeichnet man dieſe Verbindung und überhaupt Kohlenwaſſerſtoffverbindungen, bei denen dies der Fall iſt, als geſättigte Kohlenwaſſerſtoffverbindungen. Dagegen könnte das Äthylen, ſobald ſeine beiden Kohlenſtoffatome je eine Hand losließen, noch zwei weitere Waſſerſtoffatome binden. Es iſt alſo eine ungeſättigte Kohlenwaſſerſtoffverbindung und ſehr willig, noch Waſſerſtoff aufzunehmen. In noch ſtärkerem

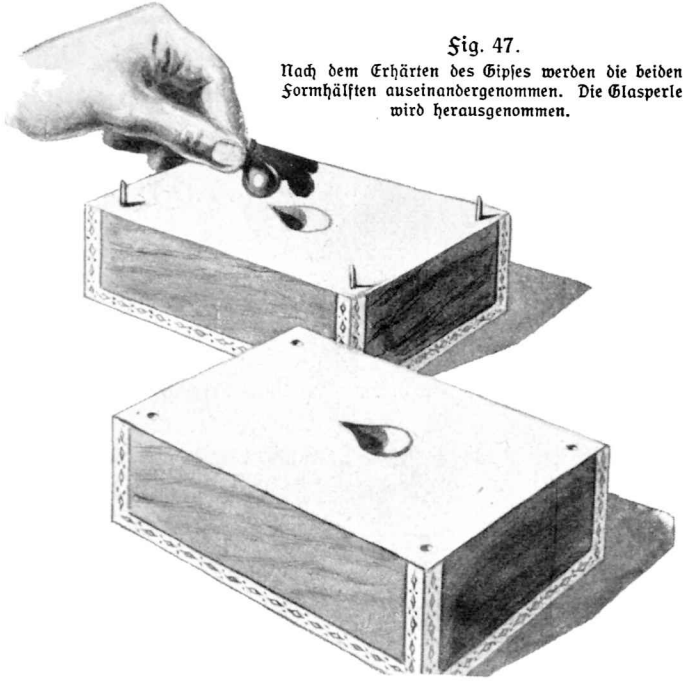


Fig. 47.
Nach dem Erhärten des Gipſes werden die beiden Formhälften auseinandergenommen. Die Glasperle wird herausgenommen.

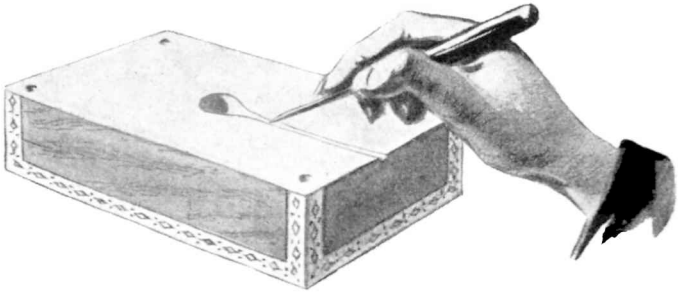


Fig. 48.
Mit einem ſpitzen Meſſer wird eine Eingußöffnung hergeſtellt. Beide Formhälften werden nochmals mit Öl getränkt und wieder zuſammengeſteckt

Maße muß dies natürlich beim Azetylen der Fall ſein. Das zeigt ſich in der Praxis durch die bedenkliche Neigung zu Exploſionen. Komprimiert man Azetylen ſtark, ſo zerfällt es exploſionsartig in Ruß und Äthan. Einzelne Kohlenſtoffatome werfen dabei alſo den Waſſerſtoff ab und vereinigen ſich zu Kohlenſtoffmolekülen, während die

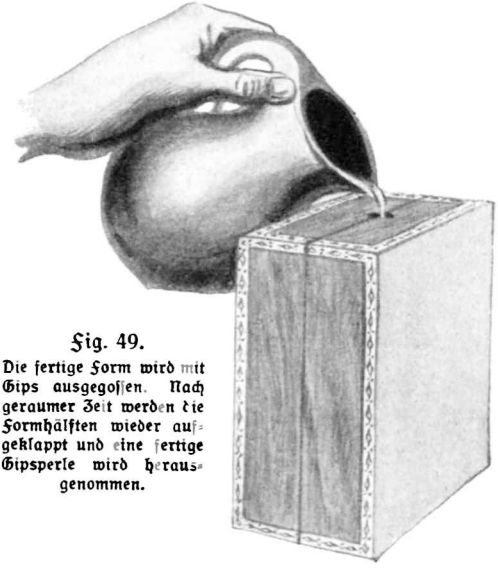


Fig. 49.
Die fertige Form wird mit Gips ausgegoſſen. Nach geraumer Zeit werden die Formhälften wieder aufgeklappt und eine fertige Gipsperle wird herausgenommen.

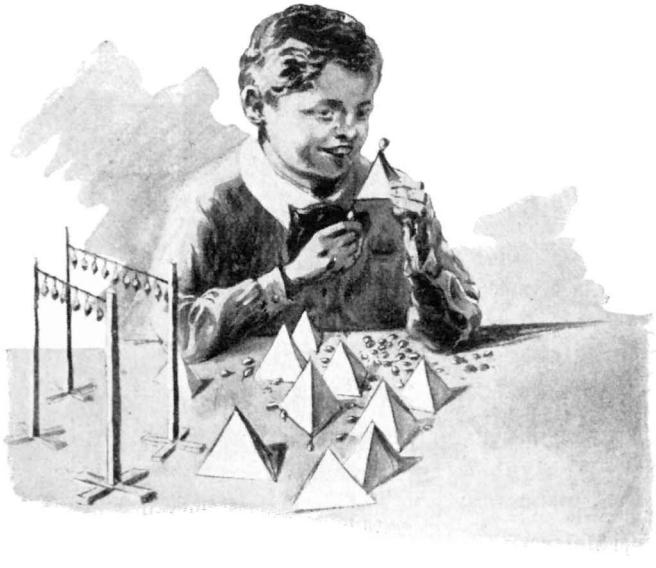


Fig. 50. Vorbereitung zur Herſtellung räumlicher Molekülmodelle.
Gipsperlen ſind gegoſſen.
Aus Kartonpapier werden Tetraeder (gleichſeitige Pyramiden) geklebt.

frei werdenden Waſſerſtoffatome in die übrigbleibenden Azetylenmoleküle einwandern und mit ihnen Äthan ergeben.

Mit den drei Gaſen Äthan, Äthylen und Azetylen ſind die für zwei Kohlenſtoffatome möglichen Kohlenwaſſerſtoffe erſchöpft. Wir wollen nun noch einmal vom Äthan ausgehen und eine weitere Bildung in derſelben Weiſe verſuchen, in der das Äthan aus dem Methan entſtand. Wir nehmen alſo drei Kohlenſtoffatome, von denen das mittelſte den beiden anderen je eine Hand reicht. Es behält demnach zwei freie Valenzen, die beiden anderen Atome aber je drei, ſo daß insgeſamt acht Waſſerſtoffatome an die

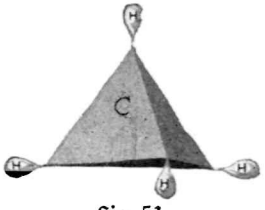
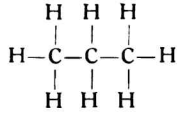
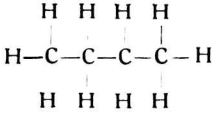


Fig. 51.
Methan = CH_4.

drei Kohlenstoffatome herantreten können. Es entsteht ein gasförmiger Körper von der Formel C_3H_8, welcher als Propan bezeichnet wird (Fig. 57) und ebenfalls im Rohpetroleum vorkommt. Seine Strukturformel lautet:



Wir können nun ein viertes Kohlenstoffatom anfügen oder, vielleicht anschaulicher gesagt, in die Reihe der vorhandenen Kohlenstoffatome einfügen. Dies Atom wird zwei Valenzen für die benachbarten Kohlenstoffatome brauchen und zwei Valenzen für Wasserstoffatome frei haben. So entsteht wieder ein Körper von der Formel C_4H_{10}, der als Butan bezeichnet wird. (Fig. 58.) Seine Strukturformel lautet:



Wir können nun immer weiter Kohlenstoffatome einfügen, wobei jedes dieser Atome zwei freie Valenzen für zwei weitere Wasserstoffatome mitbringt. So entstehen der Reihe nach der Körper C_5H_{12}, das Pentan, der Körper C_6H_{14}, das Hexan,

Fig. 52.
Chloroform = $CHCl_3$.

der Körper C_7H_{16}, das Heptan usw. bis zu einem Körper $C_{35}H_{72}$.

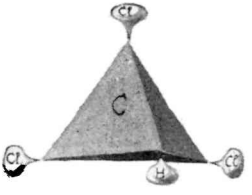


Fig. 53.
Jodoform = CHJ_3.

Was wir hier vor uns haben, ist eine sogenannte homologe Kohlenwasserstoffreihe, deren Bildungsgesetz man beim Betrachten der Strukturformeln leicht erkennen wird. Wenn irgendeine Anzahl, beispielsweise m Kohlenstoffatome, wobei m irgendeine ganze Zahl bedeutet, die Mittelreihe in einer dieser Formeln bilden, so wird jedes dieser Atome zwei Wasserstoffatome binden, so daß 2 m Wasserstoffatome vorhanden sind. Darüber hinaus binden aber die beiden Endglieder der Kohlenstoffreihe noch je 1 Wasserstoffatom, so daß noch 2 Wasserstoffatome hinzukommen, insgesamt 2 m + 2 Wasserstoffatome vorhanden sind. Die allgemeine Formel für die gesättigte Kohlenwasserstoffreihe heißt demnach C_mH_{2m+2}. Die Körper dieser Reihe sind bis zu dem bereits genannten $C_{35}H_{72}$ im Rohpetroleum aufgefunden und analysiert worden. Die ersten Stoffe der Reihe sind Gase. Aber schon beim Pentan beginnen die flüchtigen Kohlenwasserstoffe. Pentan, Hexan und Heptan bilden die Hauptbestandteile des Automobilbenzins, welches ja durch Destillation aus dem Rohpetroleum gewonnen

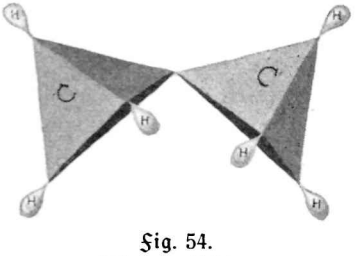


Fig. 54.
Äthan = C_2H_6.

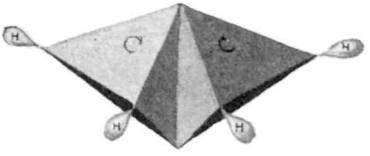


Fig. 55. Äthylen = C_2H_4.

wird. Das Pentan verdunstet bereits bei 37 Grad Celsius, das Hexan bei etwa 69 und das Heptan bei 98. Mit den folgenden Gliedern der Reihe, dem Oktan, Nonan, Dekan usw., kommen wir zu den Bestandteilen des Lampenpetroleums, mit den noch höheren Gliedern zu den Bestandteilen der Schmieröle. Wie die Verdampfungstemperaturen, so steigen auch die Schmelztemperaturen der Glieder dabei immer mehr an. Schon beim Eikosan von der Zusammensetzung $C_{20}H_{42}$ liegt der Schmelzpunkt bei 37 Grad Celsius; wir haben ein Schmierfett, welches bei gewöhnlicher Temperatur fest ist.

Die Öligkeit, Fettigkeit und Schmierfähigkeit dieser Kohlenwasserstoffe erklärt man sich direkt aus der Struktur ihrer Moleküle. Man nimmt an, daß diese langen Atomreihen oder Atomschlangen der einzelnen Moleküle leicht aufeinander gleiten können. Bringt man solch Schmierfett etwa zwischen zwei Metallflächen, so bilden diese fadenförmigen Moleküle auf jeder der beiden Flächen eine dünne, daran haftende Schicht, deren Moleküle sich in die Richtung der Bewegung legen und nun das leichte Gleiten ermöglichen. Wegen dieser Fettigkeit bezeichnet man diese reihenförmigen Kohlenwasserstoffe auch als aliphatische Kohlenwasserstoffe vom griechischen aleiphos, das Fett.

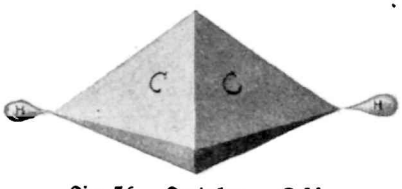


Fig. 56. Azetylen = C_2H_2.

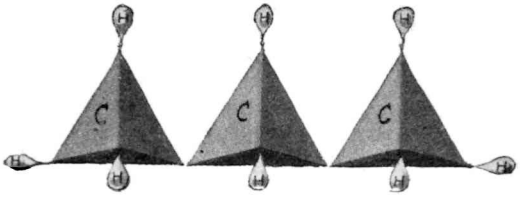
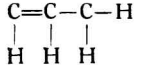


Fig. 57. Propan = C_3H_8.

Zu einer ganz ähnlichen homologen Reihe gelangen wir nun auch, wenn wir vom ungesättigten Kohlenwasserstoff, dem Äthylen, ausgehen. Wir haben 2 Kohlenstoffatome, die sich mit je 2 Valenzen binden. Dem einen geben wir 2 Wasserstoffatome, dem anderen nur 1. Wir behalten also hier noch eine Valenz frei, an die wir noch ein Kohlenstoffatom hängen, dem wir nun noch 3 Wasserstoffatome anfügen können. So kommen wir zu einem Körper von der Zusammensetzung C_3H_6, dem Propylen (Fig. 59), ebenfalls einem Kohlenwasserstoffgas. Seine Strukturformel wird, wie folgt, angenommen:



Der nächste Schritt in dieser Reihe bringt uns zu 4 Kohlenstoffatomen, von denen zwei doppelt gebunden sind,

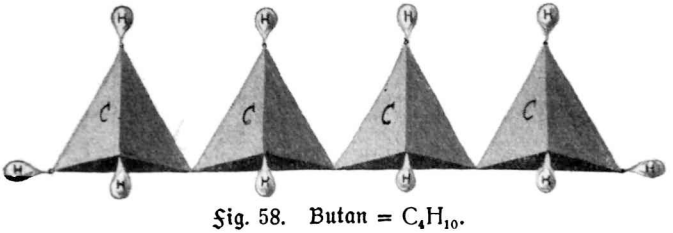


Fig. 58. Butan = C_4H_{10}.

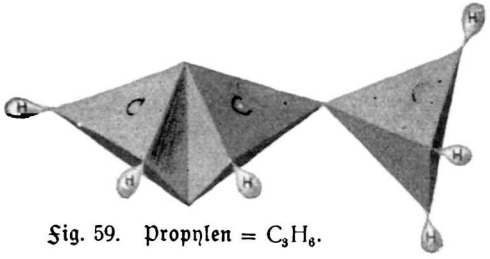
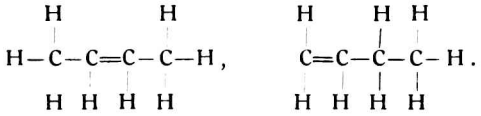


Fig. 59. Propylen = C_3H_6.

während die übrigen einfache Bindungen haben. So ergeben ſich acht freie Valenzen und ein Stoff von der empiriſchen Formel C_4H_8. Für die Struktur ſind hier aber verſchiedene Annahmen möglich, je nachdem man die doppelte Bindung zweier Kohlenſtoffatome an das Ende der Reihe oder in die Mitte derſelben verlegt. Es ergeben ſich alſo zwei Strukturformeln:



Man bezeichnet dieſe Verbindung mit 4 Kohlenſtoffatomen als Butylen und unterſcheidet ein α-Butylen (Fig. 60) und ein β-Butylen (Fig. 61). Es ſei betont, daß dieſe beiden ungeſättigten Kohlenwaſſerſtoffe von gleicher quantitativer Zuſammenſetzung aber verſchiedener Struktur nicht nur in der Theorie exiſtieren, ſondern auch in Wirklichkeit gefunden worden ſind. Derartige Körper bezeichnet der Chemiker als iſomere Stoffe vom griechiſchen isos, gleich und meros, teil. Die Iſomeren ſind alſo Stoffe, in denen die gleiche Anzahl Atome in verſchiedener Weiſe im Molekül

gelagert ſind. Wir werden ſolchen Körpern noch häufig begegnen.

Nach den bisherigen Betrachtungen können wir nun auch die allgemeine Formel der Äthylenreihe ableiten. Im Gegenſatz zur Methanreihe ſind hier zwei Kohlenſtoffatome doppelt gebunden. Für den Waſſerſtoff ſtehen deshalb zwei Valenzen weniger zur Verfügung, die Zahl der Waſſerſtoffatome muß um zwei geringer ſein als in der Formel der Methanreihe. Haben wir alſo m Kohlenſtoffatome, ſo haben wir nicht mehr $2\,m + 2$ ſondern nur noch $2\,m$ Waſſerſtoffatome. Die allgemeine Formel der Äthylenreihe lautet demnach C_mH_{2m}.

Ebenſo wie die Glieder der Methanreihe ſind auch diejenigen der Äthylenreihe fettige Körper und kommen im Rohpetroleum vor. Von dem Amylen C_5H_{10} an ſind es flüſſige, vom Eikolyſen an feſte Fette. Die Methanreihe wird wegen des zu ihr gehörenden Paraffins wohl auch als Paraffinreihe bezeichnet, die Äthylenreihe dagegen als Olefinreihe.

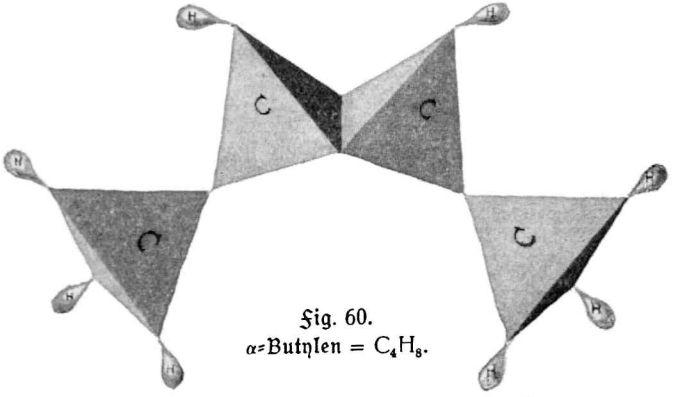
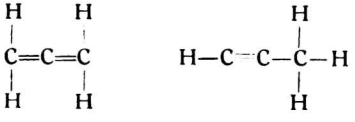


Fig. 60.
α-Butylen = C_4H_8.

Auch vom Azetylen kann man eine homologe Reihe bilden, deren einzelne Glieder teils im Teer und im Rohpetroleum gefunden, teils aus diesen Stoffen hergestellt wurden. Die Glieder der Azetylenreihe folgen der allgemeinen Formel C_mH_{2m-2}. Sie besitzen also noch zwei Wasserstoffatome weniger als die entsprechenden Glieder der Olefinreihe, sind noch ungesättigter als diese. Auf das Azetylen C_2H_2 folgt hier das Glied C_3H_4. Wie die beiden Strukturformeln



zeigen, gibt es hier bereits beim zweiten Gliede der Reihe zwei verschiedene Gruppierungsmöglichkeiten der Atome und dementsprechend zwei Isomere, die als Allylen und als Allen bekannt sind. Noch größer werden die Variationsmöglichkeiten beim nächsten Gliede C_4H_6. Auch die Glieder dieser Reihe sind fettige Stoffe, die ersten Glieder gasförmig, die höheren flüssig. Theoretisch lassen sich noch weitere Reihen homologer Kohlenwasserstoffe mit den allgemeinen Formeln C_mH_{2m-4} und C_mH_{2m-6} usw. aufstellen. Auch Glieder dieser Reihen sind beispielsweise im Holzteer gefunden worden.

Während die gesättigten Kohlenwasserstoffe geringere Neigung zu chemischen Reaktionen besitzen, benutzen die ungesättigten begierig jede Gelegenheit, ihre doppelten und dreifachen Kohlenstoffbindungen aufzumachen und an die dadurch frei werdenden Valenzen irgend etwas anderes

anzuhängen. Bei den geſättigten Kohlenwaſſerſtoffen kann der Chemiker nur ſubſtituieren, er muß erſt ein Waſſerſtoffatom austreiben, bevor er dafür irgend etwas anderes einſetzen kann. Bei den ungeſättigten Waſſerſtoffen braucht er dagegen nur anzufügen oder, wie es in der Fachſprache genannt wird, zu addieren. Behandelt man beiſpielsweiſe ungeſättigte Kohlenwaſſerſtoffe mit Salzſäure von der

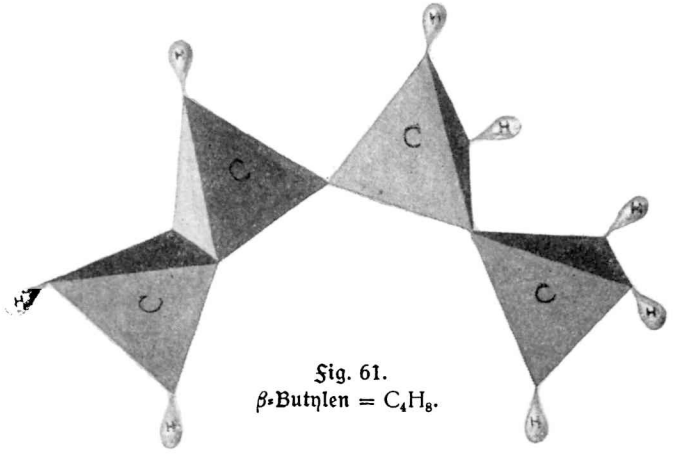


Fig. 61.
β-Butylen = C_4H_8.

Form HCl, ſo lagern ſich die Chloratome der Salzſäure ſehr leicht an die ungeſättigten Valenzen dieſer Stoffe an. Nun iſt die Zahl der Kohlenwaſſerſtoffe, die wir in den hier angeführten aliphatiſchen Reihen beſitzen, ſchon an ſich nicht gering. Sie beträgt unter Berückſichtigung der zahlreichen Iſomeren mehrere hundert. Aber dieſe Zahl ſpringt ſofort in die Tauſende, ſobald wir nun anfangen, einzelne Waſſerſtoffatome durch die einwertigen Halogene Chlor, Brom und Jod zu erſetzen.

Die Chemie, welche die griechische Sprache besonders in ihr Herz geschlossen hat, bezeichnet diese durch Substitution entstehenden Stoffe als Monoderivate, Biderivate, Triderivate usw., je nachdem ein, zwei, drei oder mehr Wasserstoffatome durch Atome des Chlors, Broms usw. ersetzt wurden. Schon bei dem einfachsten aller dieser Stoffe, dem Methan, ist die Zahl dieser Derivate sehr beträchtlich. Da finden wir unter den Monoderivaten das Methylchlorid CH_3Cl, das Methylbromid CH_3Br und das Methyljodid CH_3J. Es folgen die Biderivate Methyldichlorid CH_2Cl_2, Methyldibromid CH_2Br_2 und Methyldijodid CH_2J_2 und die Triderivate Chloroform $CHCl_3$, Bromoform $CHBr_3$ und Jodoform CHJ_3. Schließlich die Tetraderivate Tetrachlorkohlenstoff CCl_4, Tetrabromkohlenstoff CBr_4 und Tetrajodkohlenstoff CJ_4. Aber mit diesen zwölf Derivaten ist die Reihe noch nicht geschlossen. Man kann ja auch bei einem Methanmolekül beispielsweise 1 Wasserstoffatom durch 1 Chloratom, ein anderes durch 1 Jodatom und ein drittes durch 1 Bromatom ersetzen. So entsteht eine weitere Reihe von Methanderivaten, deren Anzahl sich nur mit Hilfe der mathematischen Kombinationslehre berechnen läßt und sehr groß ist. Alle diese Stoffe, die man so nach der Theorie voraussagen kann, sind aber auch wirklich im Laboratorium dargestellt worden. Einige davon, wie das Chloroform und das Jodoform, haben

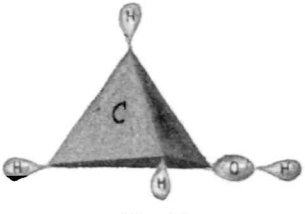


Fig. 62.
Methylalkohol = CH_3OH.

eine große praktiſche Bedeutung gewonnen, andere bieten nur theoretiſches Intereſſe.

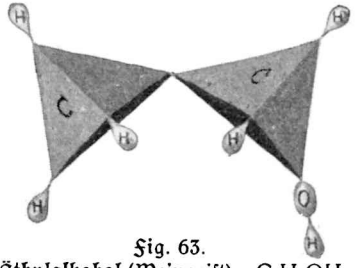
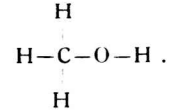


Fig. 63.
Äthylalkohol (Weingeiſt) = C_2H_5OH.

Wir wollen nun zu den Bauſteinen unſerer homologen Reihen, dem Kohlenſtoffatom und dem Waſſerſtoffatom, noch das zweiwertige Sauerſtoffatom hinzunehmen und kommen dadurch in die Lage, wiederum neue Reihen, die Alkoholreihen zu bilden. Das Sauerſtoffatom iſt zweiwertig, hat zwei Hände. Es kann ſich daher an irgendeiner Stelle in einem der bisher behandelten Kohlenwaſſerſtoffe zwiſchen 1 Kohlenſtoffatom und 1 Waſſerſtoffatom ſchieben, indem es die durch eine ſolche Trennung frei werdenden beiden Valenzen mit ſeinen beiden Valenzen bindet. Schiebt ſich 1 Sauerſtoffatom ein, ſo entſteht ein einwertiger Alkohol, ſchieben ſich mehrere Sauerſtoffatome ein, ſo entſtehen höherwertige Alkohole. Geſchieht das bei geſättigten Kohlenwaſſerſtoffen, ſo entſtehen geſättigte Alkohole, im anderen Falle ungeſättigte Alkohole. Während der Laie bei dem Wort Alkohol an einen ganz beſtimmten Stoff, den Weingeiſt oder Äthylalkohol denkt, bedeutet das Wort für den Chemiker einen Verbindungstypus, zu dem Hunderte verſchiedener Stoffe gehören.

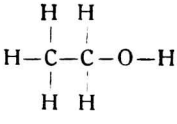
Wir wollen zunächſt mit der Paraffinreihe und einem Sauerſtoffatom arbeiten, alſo geſättigte einwertige Alkohole bilden. Wir beginnen mit dem Methan, ſchieben 1 Sauer-

ſtoffatom ein und erhalten einen Körper von der empiriſchen Formel COH_4 oder der Strukturformel



Der ſo gewonnene Stoff iſt der berüchtigte Methylalkohol (Fig. 62), der aus den Deſtillationsprodukten des Holzes gewonnen und deshalb auch als Holzgeiſt bezeichnet wird. Sein Genuß ruft Vergiftungserſcheinungen, ſpeziell Erblindungen hervor, und, ſeine Benutzung zur Verfälſchung geiſtiger Getränke wird mit Recht als ſchweres Verbrechen beſtraft.

Den nächſten Alkohol dieſer Reihe bilden wir aus dem Äthan C_2H_6 (Fig. 63). Er hat die empiriſche Formel C_2OH_6 oder die Strukturformel



Dieſer Stoff iſt der bekannte Weingeiſt oder Äthylalkohol. Er bildet den wirkſamen Beſtandteil aller unſerer geiſtigen Getränke und wird durch die Vergärung zuckerhaltiger Subſtanzen der ſogenannten Maiſchen gewonnen. Der Äthylalkohol iſt ein typiſches Beiſpiel dafür, wie grundlegend ſich der Charakter eines Stoffes durch eine verhältnismäßig geringfügige Veränderung ſeiner molekularen Zuſammenſetzung ändern kann. Hier entſteht aus dem Äthan, einem ziemlich giftigen Kohlenwaſſerſtoffgas, durch die Einwanderung eines Sauerſtoffatoms der reine Weingeiſt.

Die nun folgenden einwertigen Alkohole der Paraffinreihe bieten weniger praktiſches Intereſſe. Sie tragen ihre Bezeichnung nach dem Kohlenwaſſerſtoff, aus dem man ſie entſtanden denken kann. Dabei wächſt die Möglichkeit der Iſomerie hier noch ſtärker als bei den einfachen Kohlenwaſſerſtoffen. Wir finden in der Alkoholreihe nach dem

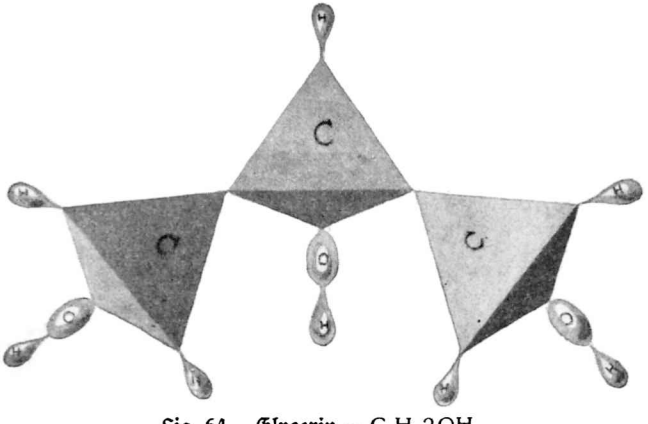


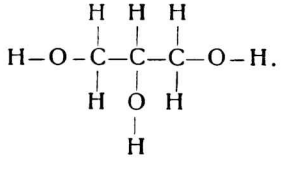
Fig. 64. Glyzerin = $C_3H_6(OH)_3$.
(Der dreiwertige Propylalkohol.)

Äthylalkohol die Propylalkohole, die Butylalkohole, die Amylalkohole uſw. Ihnen allen iſt es gemeinſam, daß ſie an einer Stelle anſtatt des einfachen Waſſerſtoffatoms die Verbindung OH enthalten, die ebenfalls einwertig iſt, eine freie Valenz beſitzt, da das Sauerſtoffatom ja nur eine ſeiner Hände an das Waſſerſtoffatom gebunden hat.

Solche Atomgruppen, die beſonders feſt zuſammenzukleben ſcheinen und in ihrer Geſamtheit wie das Atom eines Elements wirken, bezeichnet man als Radikale. Die

Atomgruppe OH bildet das einwertige Hydroxylradikal. Nach dieser Vorbemerkung dürfen wir die allgemeine Formel für die einwertigen gesättigten Alkohole in der folgenden Form niederschreiben: $C_mH_{2m+1}OH$. Für die zweiwertigen gesättigten Alkohole würde sich die allgemeine Konstitutionsformel $C_mH_{2m}2\,OH$ ergeben. (Fig. 64). In entsprechender Weise lassen sich die Formeln für die Alkoholreihen der ungesättigten Kohlenwasserstoffe niederschreiben.

Als Beispiel für die dreiwertigen Alkohole mag ein Stoff genannt werden, den die Leser sicherlich nicht unter den Alkoholen vermutet haben werden. Es ist das Glyzerin (Fig. 64) mit der empirischen Formel $C_3H_8O_3$, also der dreiwertige Alkohol des Propans C_3H_8.



Bei der Bildung der Alkohole schob sich der Sauerstoff zwischen die in der Kohlenwasserstoffverbindung vorhandenen Atome ein. Es kann nun aber auch eine Entwicklung in der Richtung erfolgen, daß 1 Sauerstoffatom 2 Wasserstoffatome aus der Verbindung herausdrängt und sich an die beiden dadurch frei werdenden Valenzen anhängt. Die allgemeine Konstitutionsformel der gesättigten Kohlenwasserstoffe lautete C_mH_{2m+2}. Wenn ein Körper dieser Reihe nun 2 Wasserstoffatome abwirft und mit den dadurch frei werdenden beiden Valenzen ein zweiwertiges Sauerstoffatom bindet, so entsteht ein Stoff von der allgemeinen Formel $C_mH_{2m}O$.

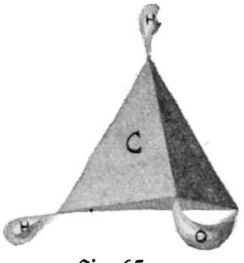


Fig. 65.
Formaldehyd = CH_2O.

Diesen Stoff könnte man sich aber auch noch in anderer Weise entstanden denken, wenn man von dem zweiwertigen Alkohol der gesättigten Kohlenwasserstoffreihe ausgeht. Dieser besitzt ja die allgemeine Formel C_mH_{2m} 2 OH. Wenn man aus dieser Formel eine Gruppe H_2O, d. h. das Molekül des Wassers, herausnimmt, bleibt ebenfalls ein Rest von der Form $C_mH_{2m}O$. Man kann diesen Stoff daher als einen Alkohol betrachten, dem Wasser entzogen ist, auf lateinisch als einen Alcoholum dehydratum. Von dieser Anschauungsweise her bezeichnet man derartige Verbindungen als Aldehyde. Es gibt natürlich zu jedem Kohlenwasserstoff auch das entsprechende Aldehyd, so daß die Zahl der Kohlenstoffverbindungen durch die große Reihe der Aldehyde wiederum eine gewaltige Vermehrung erfährt. Als Beispiel dieser Substanzen mag das Formaldehyd oder Methylaldehyd (Fig. 65) genannt sein, welches man sich aus dem Methan durch Abwurf zweier Wasserstoffatome und Einwanderung eines Sauerstoffatoms entstanden denken kann. Es ist ein bekanntes Desinfektionsmittel.

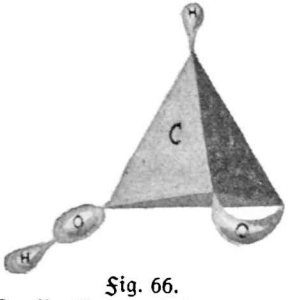


Fig. 66.
Ameisensäure = C·H·OH·O.

Die Einwanderung des Sauerstoffs kann nun noch weitergehen, zunächst in der Weise, daß 1 Sauerstoffatom

2 Wasserstoffatome verdrängt und ein anderes Sauerstoffatom sich zwischen ein Kohlenstoffatom und ein Wasserstoffatom einschiebt. Durch diese Veränderung entstehen aus den gesättigten Kohlenwasserstoffen Körper von der allgemeinen Formel $C_mH_{2m}O_2$. Es sind die fetten Säuren. Weil sie von den gesättigten Kohlenwasserstoffen abgeleitet werden, heißen sie gesättigte Säuren. Auch hier entspricht wieder jedem Gliede der Kohlenwasserstoffreihe wenigstens ein Glied der Säurenreihe. Durch das Vorkommen isomerer Säuren erhöht sich die Zahl dieser Säuren aber noch beträchtlich. Zu dem Methan CH_4 gehört in dieser Säurereihe die Ameisensäure CH_2O_2 (Fig. 66). Zum Äthan C_2H_6 die Essigsäure $C_2H_4O_2$ (Fig. 67). In der Praxis gewinnt man die Essigsäure durch einen Oxydationsprozeß des Weingeistes C_2H_5OH, bei dem 2 Wasserstoffatome durch 1 Sauerstoffatom ersetzt werden. Dies Beispiel zeigt, daß man diese Säuren auch als einfache Oxydationsprodukte der entsprechenden einwertigen Alkohole auffassen kann. Von den höheren Gliedern dieser Reihe ist noch besonders die Stearinsäure $C_{18}H_{36}O_2$ bekannt. Aus ihr bestehen unsere Stearinkerzen, die also eigentlich Stearinsäurekerzen heißen müßten.

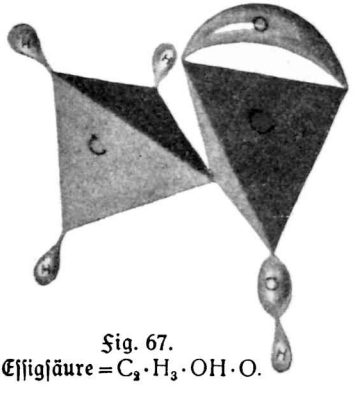
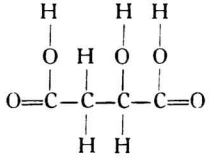


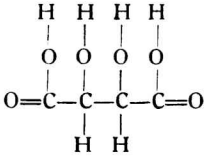
Fig. 67.
Essigsäure = $C_2 \cdot H_3 \cdot OH \cdot O$.

Das hier begonnene Spiel, bei dem entweder 2 Wasserstoffatome durch 1 Sauerstoffatom ersetzt werden oder

1 Sauerstoffatom sich zwischen 1 Wasserstoff- und Kohlenstoffatom einschiebt, kann nun sowohl bei den Reihen der gesättigten als auch der ungesättigten Kohlenwasserstoffe nach Belieben wiederholt werden, und die Zahl der so entstehenden höheren Säuren ist unübersehbar groß. Nur einige wenige Beispiele mögen hier genannt werden. So ergibt die Verbindung $C_4H_6O_5$ mit der Strukturformel



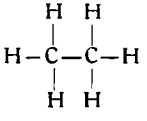
die Äpfelsäure, welche in unreifen Äpfeln, Weintrauben usw. vorkommt und diesen Früchten den sauren Geschmack verleiht. Die Verbindung $C_4H_6O_6$ mit der Strukturformel



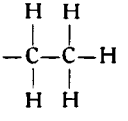
ist als Weinsäure bekannt und findet sich besonders im Safte der Weintrauben, aber auch noch in anderen Früchten. Die Verbindung $C_6H_8O_7$ ist als Zitronensäure wohl bekannt. Sie findet sich in Zitronen, Orangen und Preiselbeeren, kommt aber gemischt mit anderen Säuren auch in Stachelbeeren und vielen anderen Früchten vor. Durch einfaches Erhitzen dieser Säure spaltet sich 1 Molekül Wasser ab. Der verbleibende Stoff von der Formel $C_6H_6O_6$ ist die Akonitsäure, welche im Zuckerrohr, der Runkelrübe und

anderen Pflanzen vorhanden ist. Die hier gegebenen Beispiele mögen für die Säuren genügen.

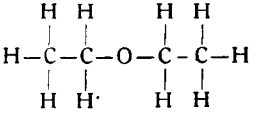
Schon jetzt ist die Zahl unserer Kohlenstoffverbindungen, die wir aus den einfachen Kohlenwasserstoffen unter Zuhilfenahme des Sauerstoffes ableiten konnten, gewaltig groß. Aber noch längst sind wir nicht am Ende. Betrachten wir noch einmal die Reihe der ungesättigten Wasserstoffe, nehmen wir beispielsweise das Äthan von der Strukturformel



Wir können das eine Wasserstoffatom am Ende der Reihe abhaken und behalten dann ein einwertiges Radikal von der Strukturformel:



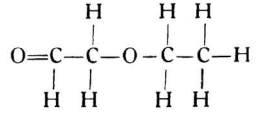
Zwei solcher Radikale können wir dann an die beiden Valenzen eines Sauerstoffatoms anhängen und erhalten so einen Körper von der folgenden Strukturformel:



Körper dieser Art bezeichnet der Chemiker als Äther (Fig. 68). Selbstverständlich sind diese Stoffe nicht mit dem hypothetischen Lichtäther der Physiker zu verwechseln. Der vorstehend gegebene Äther wird nach den ihn bildenden Radikalen als

Äthyläther bezeichnet. Man nennt ihn gelegentlich auch Schwefeläther, obwohl keine Spur von Schwefel in ihm vorhanden ist. Der Name mag mit der Herstellungsweise zusammenhängen, da man ihn sehr einfach durch Eingießen von Schwefelsäure in Weingeist mit nachherigem Abdestillieren des dabei entstehenden Äthers herstellt. Die allgemeine Konstitutionsformel der Äther lautet nach dem Vorstehenden $C_mH_{2m+1}OC_mH_{2m+1}$. Zu jedem Kohlenwasserstoff gehört wenigstens 1 Äther.

Mit den Äthern nicht zu verwechseln sind die Ester. Wir konnten uns einen Äther in der Weise entstanden denken, daß ein Sauerstoffatom zwei einwertige Radikale eines Kohlenwasserstoffes bindet. In ähnlicher Weise entsteht ein Ester, wenn das Sauerstoffatom einmal ein einwertiges Radikal der Kohlenwasserstoffreihe und andererseits eine Säure bindet, welche eine Atomgruppe OH, ein Oxylradikal, abgestoßen hat und dadurch über eine freie Valenz verfügt. Durch ein solches Ausstoßen geht beispielsweise die Essigsäure $C_2H_4O_2$ in ein einwertiges Radikal C_2H_3O über, und es bildet sich ein Stoff von der Strukturformel:



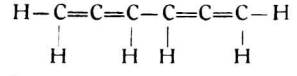
der nach seinen Komponenten als Essigsäureäthylester bezeichnet wird (Fig. 69). Die Zahl der möglichen Ester ist wesentlich größer als die Zahl der einfachen Kohlenwasserstoffe, da ja ein beliebiges Säureradikal und ein beliebiges Kohlenwasserstoffradikal unter Zunahme eines Sauerstoffatoms immer

einen Ester bilden können. Infolge der unbeschränkten Kombinationsmöglichkeiten steigt hier die Zahl ins Ungemessene.

Die unabsehbar große Zahl der Verbindungen und Verbindungsgruppen, die wir bisher betrachteten, wurden ausnahmslos aus den aliphatischen Kohlenwasserstoffen abgeleitet, die dadurch gekennzeichnet sind, daß Kohlenstoffatome bei ihnen in einer Reihe liegen. Bedenken wir noch einmal, daß jedes Wasserstoffatom in diesen Verbindungen durch jedes andere einwertige Atom und jedes einwertige Radikal ersetzt werden kann, und daß sich an jeder Stelle, wo einfache Bindungen zwischen den Atomen herrschen, jedes beliebige zweiwertige Atom, wie zum Beispiel Sauerstoff und Schwefel oder aber auch jedes zweiwertige Radikal einschieben kann, so leuchtet es wohl ein, daß die Zahl aller dieser Verbindungen nicht mehr in die Tausende, sondern in die Hunderttausende geht. Und doch haben wir damit erst die kleinere Hälfte der Kohlenstoffchemie durchwandert. Nach den reihenförmigen oder aliphatischen Kohlenwasserstoffen müssen wir nun noch die ringförmigen oder aromatischen Kohlenwasserstoffe betrachten.

Als man begann, den Steinkohlenteer zu destillieren und die einzelnen Destillationsprodukte genauer zu untersuchen, stieß man auf einen flüssigen klaren Stoff, der den Namen Benzol erhielt. Die einfache Analyse ergab sehr schnell, daß diesem Stoff die empirische Formel C_6H_6 zukäme. Es war also ein reiner Kohlenwasserstoff, dessen Molekül 6 Kohlenstoffatome und 6 Wasserstoffatome enthielt. Rein äußerlich zeigte er eine gewisse Ähnlichkeit mit den Kohlenwasserstoffen der aliphatischen Reihen. So

wird ja auch heute noch Benzin und Benzol gleichberechtigt in unſeren Kraftwagen verpufft. Gehörte das Benzol aber zu dieſen reihenförmigen Kohlenwaſſerſtoffen, dann mußte es ein ſtark ungeſättigter Kohlenwaſſerſtoff ſein, konnte beiſpielsweiſe die Strukturformel



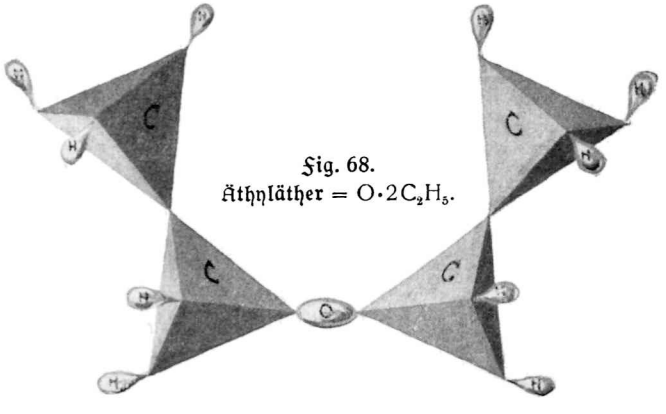


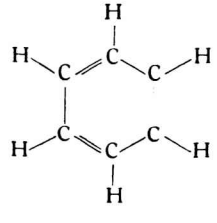
Fig. 68.
Äthyläther = $O \cdot 2C_2H_5$.

beſitzen. Aber die Reaktionen und das ganze Verhalten des Benzols beim Eingehen von Verbindungen ſprachen durchaus gegen eine ſolche Struktur.

Länger als ein Menſchenalter zerbrachen ſich die Chemiker die Köpfe über die wahrſcheinliche Struktur dieſes Abkömmlings des Steinkohlenteers, bis dem Berliner Chemiker Kekulé die Erleuchtung kam. So bedeutend war dieſe Entdeckung, daß ſich verſchiedene Sagen darum ranken. Nach der einen Verſion ſoll Kekulé den ſechsatomigen Benzolring im Traume geſehen haben (Fig. 70). Nach einer

anderen Überlieferung ſoll ihm die Idee dazu während einer Fahrt auf den damals noch ganz neuen Berliner Omnibuſſen gekommen ſein.

Mag dem ſein, wie ihm wolle. Das Grundlegende, Neue beſtand darin, daß man nun die Kohlenſtoffatome im Benzolmolekül nicht mehr in einer Reihe, ſondern in einem Kreiſe oder einem Sechseck angeordnet annahm, wobei zwiſchen zwei Atomen doppelte Bindung, zwiſchen den folgenden einfache, zwiſchen den dritten wieder doppelte Bindung uſw. vorausgeſetzt wurden. Jedes einzelne Kohlenſtoffatom hängt dann mit drei Bindungen am ſechsgliedrigen Ring und behält eine Valenz frei, an der im Falle des Benzols nur je 1 Waſſerſtoffatom liegt.



Der Leſer, der den vorſtehenden Ausführungen über die Kombinationsmöglichkeiten bei den reihenförmigen Kohlenwaſſerſtoffen gefolgt iſt, wird ſofort einſehen, daß man natürlich auch an dieſe einwertigen Ecken des Benzolringes ſehr viele einwertige Elemente oder Radikale ſubſtituieren kann, und daß ſchon dadurch die Zahl der Benzolabkömmlinge ſehr bedeutend werden muß. Es beſteht aber auch die zweite Möglichkeit, daß die doppelten Bindungen im Benzolringe in einfache übergehen, wodurch

nun die Ecken des Ringes zweiwertig werden und die Zahl der möglichen Abkömmlinge noch einmal gewaltig steigt.

Zunächst eine kurze Bemerkung über die Entstehung des Benzols. Im Steinkohlenteer ist es fertig vorhanden. Aber der Steinkohlenteer wird bekanntlich bei der trockenen Destillation der Steinkohle in Rotglut gewonnen, und in der Steinkohle ist es noch nicht vorhanden. Betrachten wir

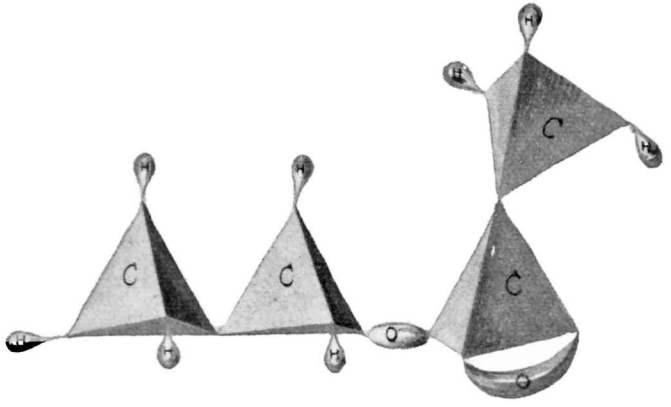


Fig. 69. Essigsäureäthylester = $C_2H_5 \cdot O \cdot C_2H_3O$.

nun unseren Benzolring mit seinen 6 Atomen Kohlenstoff und 6 Atomen Wasserstoff. Nehmen wir an, daß durch irgendwelche äußeren Einflüsse die einfachen Bindungen dieses Ringes aufreißen, so daß drei Gruppen aus je 2 Kohlenstoff- und 2 Wasserstoffatomen entstehen. Die bei solcher Zerreißung frei werdenden Valenzen können sich natürlich nur zwischen den Kohlenstoffatomen der einzelnen Gruppen auswirken und dort zu einer dreifachen Bindung führen. Wir erhalten also bei dieser Sprengung aus einem

Benzolmolekül drei Moleküle von der Form C_2H_2, d. h. drei Azetylenmolekülen. Umgekehrt kann man ſich natürlich auch den Benzolring aus drei Azetylenmolekülen aufgebaut denken, und dieſer Vorgang findet tatſächlich in der Natur ſtatt, wenn man Azetylengas der Temperatur der beginnenden Rotglut ausſetzt. Wir können alſo annehmen, daß das Azetylen, welches ſich zweifellos aus der

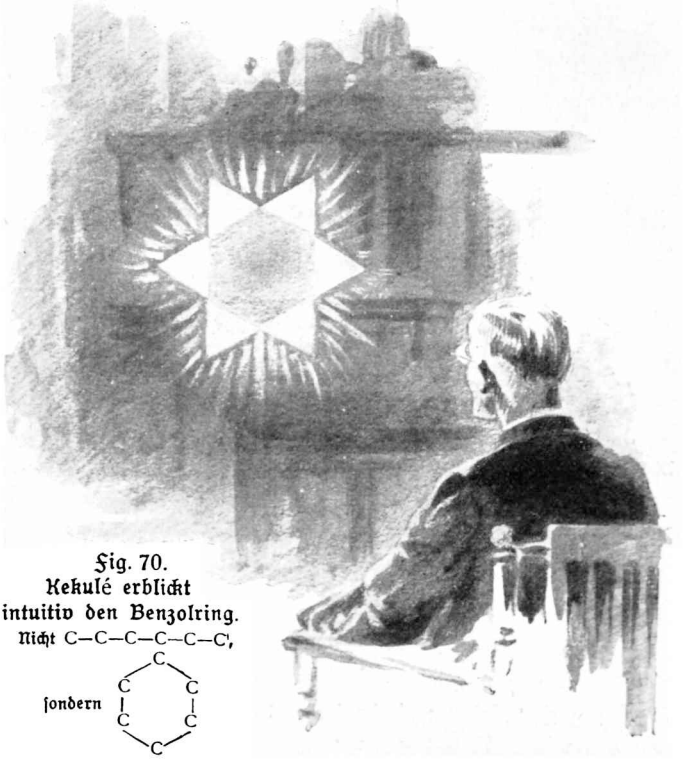


Fig. 70.
Kekulé erblickt intuitiv den Benzolring.
Nicht C–C–C–C–C–C,
ſondern

erhitzten Kohle entwickelt und zum Teil ja noch im Leuchtgas nachweisbar ist, sich zum anderen Teil in der rotglühenden Verkokungsretorte in Benzol verwandelt. Einen solchen Vorgang, bei welchem mehrere gleichartige Moleküle ein neues größeres Molekül von der gleichen prozentualen Zusammensetzung bilden, bezeichnet der Chemiker als Polymerisation vom griechischen polys (viel) und meros (der Teil). Das Azetylen polymerisiert sich also in der Rotglut zu Benzol (Fig. 71).

Aus der Strukturformel des Benzolringes und noch deutlicher aus einem Modell, das wir uns aus Kohlenstofftetraedern zusammenbauen, geht klar hervor, daß der Benzolring vollkommen symmetrisch gebaut ist, daß seine sechs Ecken unter sich vollkommen gleichwertig sind. Solange wir daher nur eine dieser Ecken benutzen, um irgend etwas Einwertiges, ein Atom oder ein Radikal daran zu hängen, die übrigen fünf Ecken aber mit ihren fünf Wasserstoffatomen besetzt lassen, wird es vollkommen gleich bleiben, welche der sechs Ecken wir zum Anhängen benutzen. Benzolverbindungen, bei denen nur eine Ecke des Ringes in dieser Weise benutzt wird, bezeichnet man als Monoderivate vom griechischen monos (einzig, allein).

Die Benzolmonoderivate werden nach der vorstehenden Erläuterung keine Isomerie aufweisen können. Diese aus der Theorie zu machende Voraussage hat durch die Praxis ihre volle Bestätigung gefunden. Aber das Bild ändert sich, sobald wir zwei Ecken des Ringes zum Anhängen neuer Atome oder Atomgruppen benutzen. Numerieren wir die Ecken des Ringes von 1 bis 6 (siehe Fig. 72

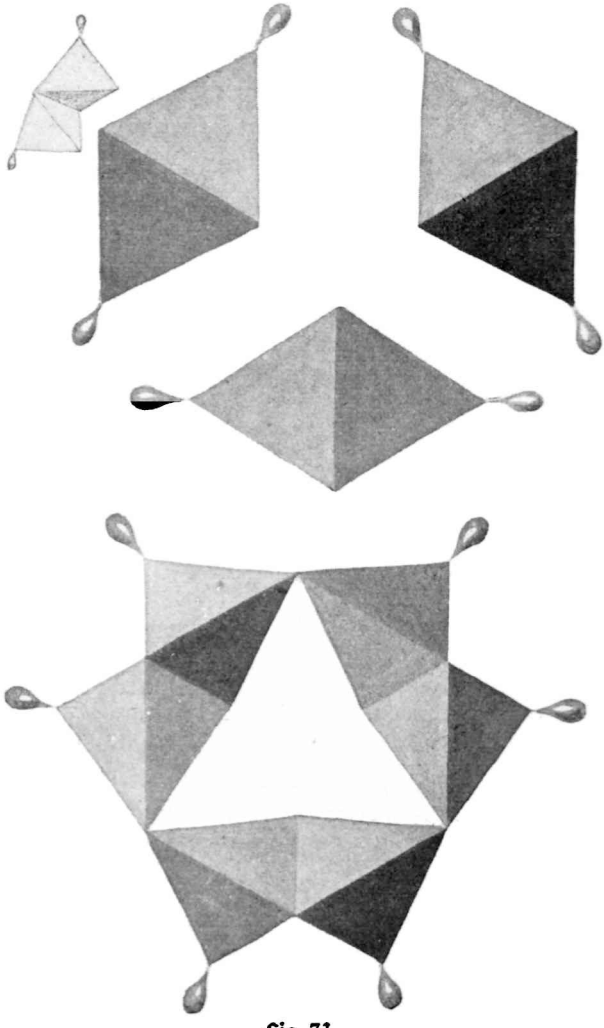


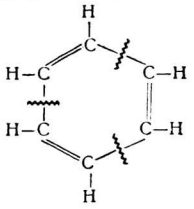
Fig. 71.

bis 74), so ergeben sich für jedes Benzolbiderivat drei verschiedene Strukturmöglichkeiten. Wir können unsere beiden neuen Atome oder Atomgruppen entweder an zwei benachbarte Ecken hängen oder an zwei Ecken, die durch eine dazwischenliegende Ecke getrennt sind oder endlich an zwei Ecken, die durch drei dazwischenliegende Ecken getrennt sind. Daraus folgt theoretisch, daß es von jedem Benzolbiderivat drei isomere Formen geben muß, aber auch nicht mehr als drei Formen geben kann. Auch hier bestätigt die Praxis genau das von der Theorie Vorausgesagte. Man bezeichnet diese verschiedenen Biderivate entweder in der Weise, daß man die Nummern der besetzten Ringecken durch Komma getrennt vor die eigentliche Formel schreibt, zum Beispiel 1,2, was gleich 1,6 ist, oder 1,3, was gleich 1,5 ist, oder schließlich 1,4. Häufig benutzt man auch griechische Bezeichnungen. So heißen die 1,4-Verbindungen Paraverbindungen, die 1,3-Verbindungen Metaverbindungen und die 1,2-Verbindungen Orthoverbindungen. Auch bei

Zu Fig. 71. Die Polymerisation des Azetylens C_2H_2 in der Rotglut der Gasretorte zu Benzol: $3C_2H_2 = C_6H_6$.

Drei Azetylenmoleküle C_2H_2 machen je eine Kohlenstoffbindung auf (links oben) und vereinigen sich. Azetylen H—C⋮C—H wird H—C C—H.

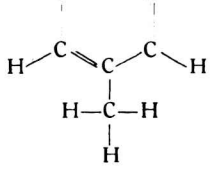
Aus 3 aufgespaltenen Azetylenmolekülen



entsteht der Benzolring.

den Triderivaten ergeben sich drei Möglichkeiten, je nachdem die drei Ecken 1, 2 und 3 oder 1, 3 und 4 oder 1, 3 und 5 benutzt werden. Dabei ist immer angenommen, daß an die drei Ecken gleichartige Atomgruppen gehängt werden. Sind diese unter sich verschieden, so wird die Zahl der isomeren Formen einer Verbindung noch größer.

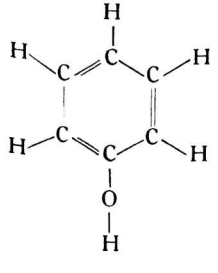
Aus dem Riesenheer der Benzolverbindungen mag an erster Stelle ein Stoff herausgegriffen werden, der sich neben dem Benzol im Steinkohlenteer findet und eigentlich noch viel mehr als das Benzol der Ausgangsstoff für die ganze Farbenchemie geworden ist, nämlich das Toluol. Das Toluol hat die empirische Formel C_7H_8. Es ist ein Monoderivat des Benzols, und zwar ein Methylbenzol (Fig. 75). An einer Ecke des Ringes findet sich an Stelle des einfachen Wasserstoffatoms das Methylradikal CH_3, und so ergibt sich die folgende Strukturformel des Toluolmoleküles:



Wir können nun mit Methylradikalen weiter operieren, zwei Ecken damit besetzen und erhalten so drei isomere Dimethylbenzole. Diese Stoffe werden auch als Xylole bezeichnet, vom griechischen Xylos (das Holz), weil sie sich besonders im Holzteer finden. Schließlich können wir drei

Ecken, vier, fünf und sechs Ecken des Benzolringes mit Methylradikalen besetzen und erhalten die entsprechenden Trimethylbenzole, Tetramethylbenzole, Pentamethylbenzole und Hexamethylbenzole. Alle diese Namen sind aus dem griechischen unter Zuhilfenahme der griechischen Zahlwörter gebildet. Nimmt man noch die Typenbezeichnungen ortho, meta usw. hinzu, so entstehen Worte wie Orthodimethylbenzol. Diese Wortbildungen, die bei den komplizierteren Benzolverbindungen noch viel länger ausfallen, sind nicht sehr schön. Demosthenes und Tukydides hätten sie auch sicher nicht verstanden. Aber diese Bezeichnungen, die für die unzähligen, erst von der Chemie hergestellten neuen Stoffe erfunden werden mußten, geben in ihrer Zusammensetzung gleich die molekulare Struktur des betreffenden Stoffes an und sind deshalb unentbehrlich.

Betrachten wir noch einige der einfachsten Benzolderivate. Wir finden hier zunächst die Chlorbenzole, bei denen Wasserstoffatome durch Chloratome ersetzt sind. Ferner kann auch das einwertige Oxylradikal OH den Wasserstoff am Benzolring ersetzen. Geschieht dies einmal, so bekommen wir das Phenol mit der Strukturformel



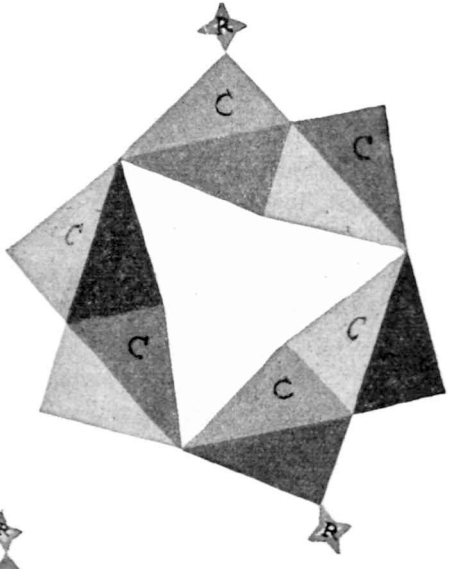


Fig. 72.
Die 1,4-Verbindung
oder
Paraverbindung.
Die beiden Subſtituenten hängen an den Ecken 1 und 4 des Benzolringes.

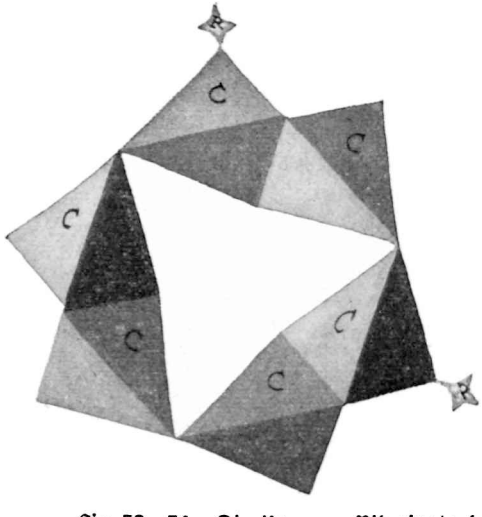


Fig. 73.
Die 1,3- (1,5)
Verbindung
oder
Meta-
verbindung.
Die beiden Subſtituenten hängen an den Ecken 1 und 3 (oder 1 und 5) des Benzolringes.

Fig. 72—74. Die iſomeren Biderivate des Benzols.

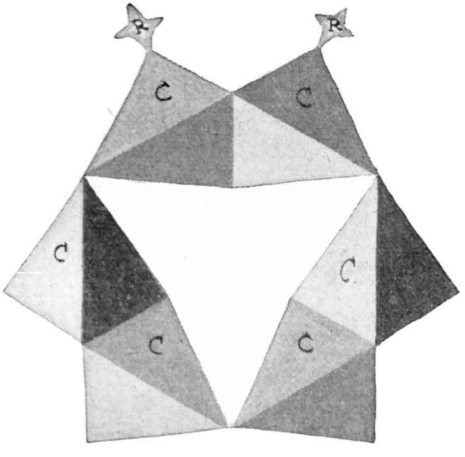


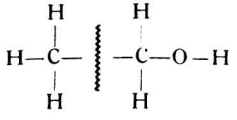
Fig. 74.
Die 1,2- (1,6) Verbindung oder Orthoverbindung.
Die beiden Subſtituenten hängen an den Ecken 1 und 2 (oder 1 und 6) des Benzolringes.

Es iſt unter dem Namen Karbolſäure allgemein bekannt. Treten zwei Oxylradikale an den Benzolring, ſo gibt es Dioxylbenzole. Die dabei möglichen drei iſomeren Formen dürften unſeren Leſern, ſoweit ſie Amateurphotographen ſind, längſt bekannt ſein. Das Orthodioxylbenzol heißt auch Brenzkatechin, das Metadioxylbenzol wird Reſorzin und das Paradioxylbenzol auch Hydrochinon genannt.

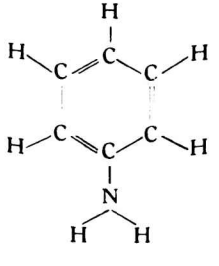
Treten drei Oxylradikale an den Benzolring, ſo bekommen wir die drei iſomeren Formen des Trioxylbenzols, deren eine als Pyrogallol im photographiſchen Entwickler ebenfalls eine Rolle ſpielt.

Bei der Betrachtung der reihenförmigen Kohlenwaſſerſtoffe lernten wir auch den Äthylalkohol oder Weingeiſt mit der Formel C_2H_5OH kennen. Wir können das Alkoholmolekül, wie an der Formel gezeigt, zwiſchen den beiden

Kohlenstoffatomen aufschneiden. Es zerfällt dann in das Methylradikal CH_3 und in das Alkoholradikal CH_2OH



Auch das einwertige Alkoholradikal kann an Stelle des Wasserstoffatoms an den Benzolring treten, und so entstehen die mannigfachen Benzylalkohole. Für unsere weiteren Betrachtungen müssen wir nun das Stickstoffatom mit hinzuziehen. Der Stickstoff kann sowohl dreiwertig wie fünfwertig auftreten. Wir haben die Gründe dafür in dem Abschnitt vom System der Elemente kennengelernt. Fünfwertig bildet er mit zwei Sauerstoffatomen das einwertige Radikal NO_2 von der folgenden Strukturformel $-N\begin{matrix}O\\O\end{matrix}$. Tritt dies Radikal an den Benzolring heran, so entstehen die Nitrobenzole. Der Stickstoff bildet fernerhin dreiwertig mit dem Wasserstoff das einwertige Radikal NH_2 von der Strukturformel $-N\begin{matrix}H\\H\end{matrix}$. Tritt ein solches Amidoradikal an Stelle des Wasserstoffs an den Benzolring, so entsteht das Amidobenzol von der Strukturformel



Es heißt auch Anilin (Fig. 76), und dieſer Stoff hat einer ganzen Gruppe von farbenchemiſchen Erzeugniſſen, den Anilinfarben, den Namen gegeben. Als der deutſche Chemiker Hofmann ſeine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiete der Farbenchemie begann, führte der Weg zuerſt auch tatſächlich vom Toluol über das Anilin zu den Anilinfarben. Es waren ungemein leuchtende und prächtige,

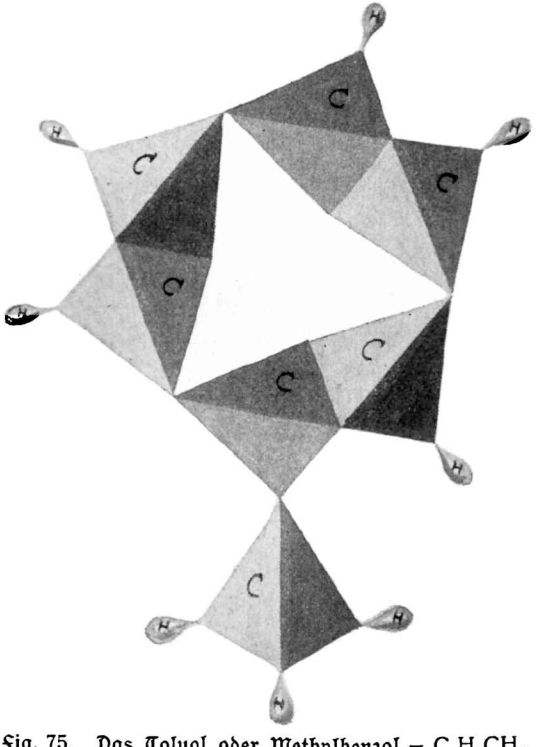


Fig. 75. Das Toluol oder Methylbenzol = $C_6H_5CH_3$.

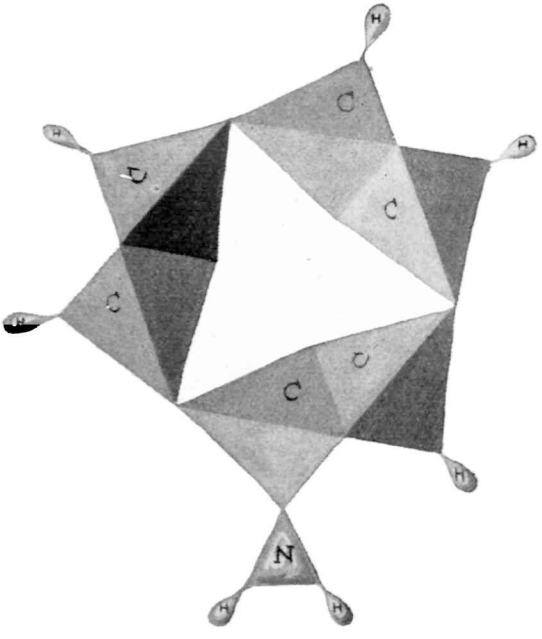
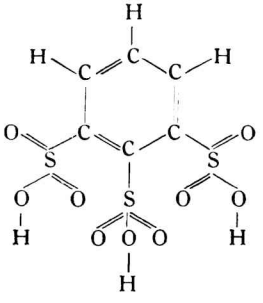


Fig. 76. Das Anilin oder Amidobenzol = $C_6H_5 \cdot NH_2$.

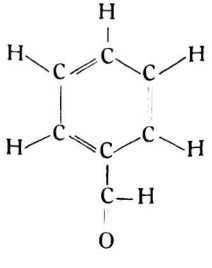
aber leider wenig lichtbeſtändige Farbſtoffe. Heute iſt dieſer Weg längſt verlaſſen, aber ſehr unberechtigterweiſe ſagt man den Teerfarbſtoffen immer noch ſchlechte Lichtbeſtändigkeit nach.

Die Schwefelſäure iſt nach der Formel H_2SO_4 zuſammengeſetzt. Auch dies Molekül läßt ſich in zwei einwertige Radikale zerſpalten, nämlich in das Oxylradikal OH und in das Schwefelſäureradikal SO_3H. Auch das Schwefelſäureradikal kann an Stelle des Waſſerſtoffatoms an den Benzolring treten und bildet je nach ſeiner Anzahl die verſchiedenen

Benzolſulfoſäuren. Als Beiſpiel aus dieſer Gruppe ſei eine Benzoltriſulfoſäure in ihrer Strukturformel gegeben:



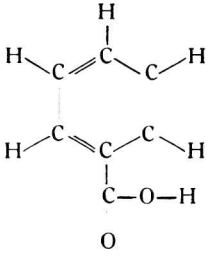
Ganz allgemein läßt ſich jede Verbindung an einer einfachen Bindungsſtelle ihres Molekülſ in zwei einwertige Radikale aufſchneiden. So kann man auch das Azetaldehyd von der Formel CH_3CHO in ein Methylradikal CH_3 und ein Aldehydradikal CHO trennen, und das letztere kann den Waſſerſtoff des Benzolringes vertreten und dann die Gruppe der Benzaldehyde bilden. Der einfachſte Körper dieſer Gruppe hat die Strukturformel



Er iſt als Bittermandelöl ſeit langem wohlbekannt. Die Chemie iſt heute imſtande, das Bittermandelöl von der

genauen Struktur des natürlichen Öls aus dem Benzol bzw. Toluol herzustellen.

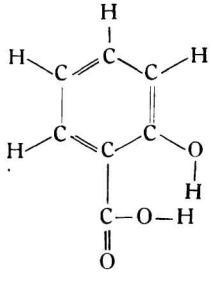
Ein anderes einwertiges Radikal von der Form CO_2H kann man sich durch Abspalten eines Wasserstoffatoms von der Ameisensäure CH_2O_2 entstanden denken. Tritt dies Radikal für ein Wasserstoffatom an den Benzolring, so entsteht die Benzoësäure (Fig. 78):



Diese Säure kommt als natürlicher Stoff im Benzoëharz und im Perubalsam vor und ist wohl als Parfümstoff allgemein bekannt. Als Benzolderivat wurde es von Hofmann erkannt und als Etappe auf dem Wege zum Anilinblau benutzt. Die höheren Verbindungen des Benzolrings mit den Radikalen der Ameisensäure haben ebenfalls Säurecharakter. Die Doppelverbindung ist als Phthalsäure bekannt, die dreifache Verbindung als Mellithsäure.

Aus den weiteren Benzolverbindungen mögen nur noch einige Stoffe herausgegriffen werden, die wegen der praktischen Verwendung allgemein bekannt sind. Zu diesen gehört die Salizylsäure, bei welcher ein Wasserstoffatom des Benzolrings durch ein Oxylradikal OH, ein benachbartes durch das Radikal der Ameisensäure CO_2H ersetzt ist, so daß

sich die folgende Strukturformel ergibt:



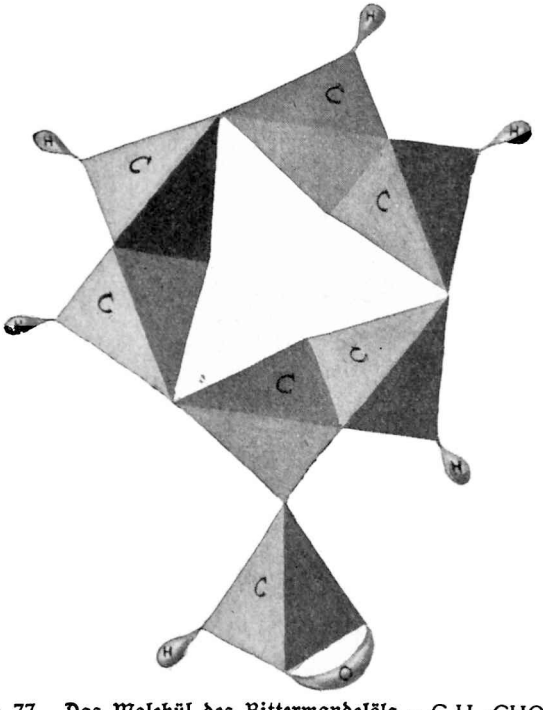


Fig. 77. Das Molekül des Bittermandelöls = $C_6H_5 \cdot CHO$.

Die Salizylſäure trägt ihren Namen vom lateiniſchen Salix, was den Weidenbaum bedeutet. Die ſeit unvordenklichen Zeiten gebräuchliche Methode, Weidenrindentee als Heilmittel gegen rheumatiſche Erkrankungen zu benutzen, iſt alſo nichts anderes als eine unbewußte Verwendung der Salizylſäure. Heute ſtellt man die Säure durch eine einfache Behandlung von Phenolnatrium oder Phenolkalium mit Kohlenſäure her.

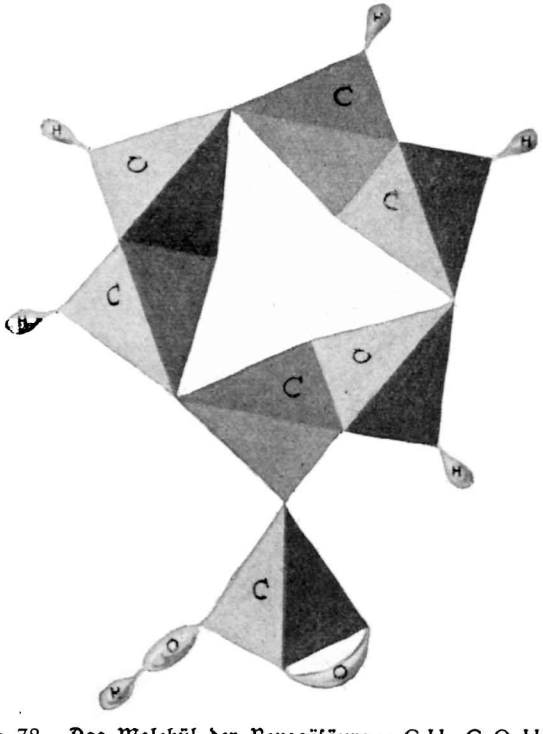
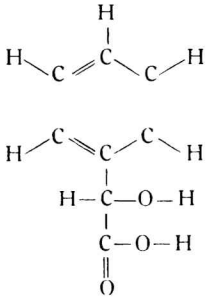
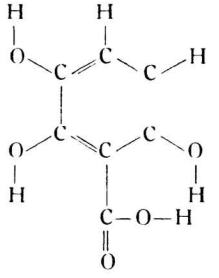


Fig. 78. Das Molekül der Benzoëſäure = $C_6H_5 \cdot C \cdot O \cdot HO$.

Mit der Benzcësäure und der Salizylsäure sind wir nun bereits zu Verbindungen gelangt, welche die Chemie vor Kekulé und Hofmann nur als Erzeugnisse der Pflanzenwelt kannte, und deren Struktur man vor der Entdeckung des Benzolrings nicht zu deuten vermochte. Im folgenden mögen noch einige andere solcher aromatischen Pflanzensäuren angeführt werden. Beispielsweise die Mandelsäure von der Strukturformel

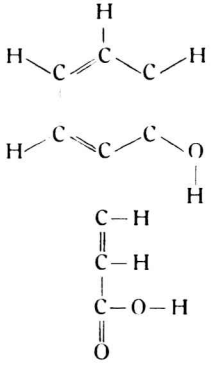


die in den Mandelfrüchten vorkommt. Zu diesen Säuren gehört weiter die Gallussäure von der Strukturformel



welche sich in den Galläpfeln, aber auch im Tee vorfindet. Weiter mag die Kumarsäure, welche im Steinklee vor-

kommt, genannt werden. Ihr Molekül baut ſich um den Benzolring nach der folgenden Strukturformel auf:



Nahe verwandt mit dieſer Säure iſt das Kumarin, welches dem Waldmeiſter Duft und Aroma verleiht.

Alle bisher behandelten aromatiſchen Kohlenwaſſerſtoffe bauten ſich um einen Benzolring auf. Die Zahl der auf dieſe Weiſe denkbaren und meiſtens auch hergeſtellten Verbindungen iſt ungeheuer groß, viel größer als die Zahl der reihenförmigen Kohlenſtoffverbindungen. Gibt es doch keinen reihenförmigen Kohlenwaſſerſtoff oder Kohlenwaſſerſtoffabkömmling, den man nicht in wenigſtens zwei Radikale aufſpalten könnte. Mit dieſen Radikalen kann man dann aber in unendlicher Mannigfaltigkeit an den Ecken des Benzolringes operieren. Aber der Benzolring iſt wiederum nur ein Teil aus der Chemie der ringförmigen Kohlenwaſſerſtoffe.

Folgende weitere Möglichkeiten ſind nicht nur theoretiſch gegeben, ſondern kommen auch wirklich vor:

Erſtens können einzelne Kohlenſtoffatome des Benzolringes durch andere Atome, beiſpielsweiſe durch Stickſtoffatome, erſetzt werden. So entſtehen aus den karbozykliſchen Verbindungen, vom griechiſchen kyklos (der Kreis) und vom lateiniſchen carbo (der Kohlenſtoff), die heterozykliſchen

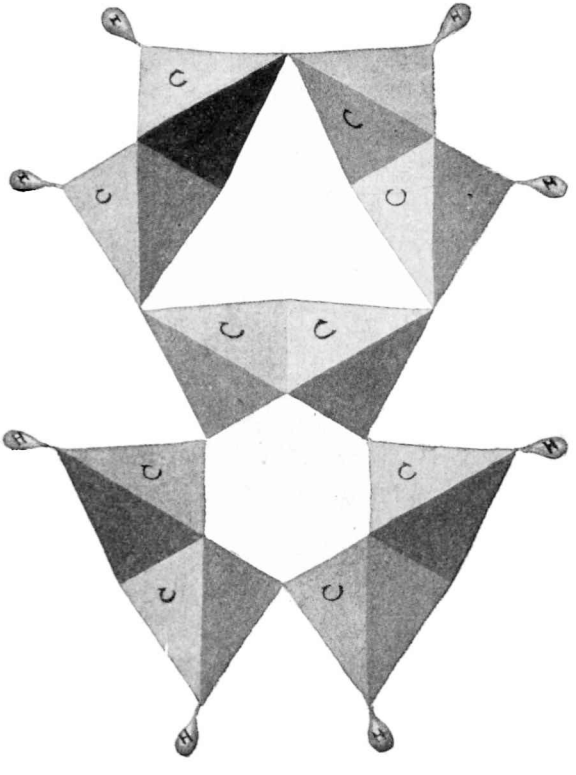
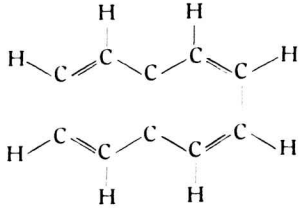


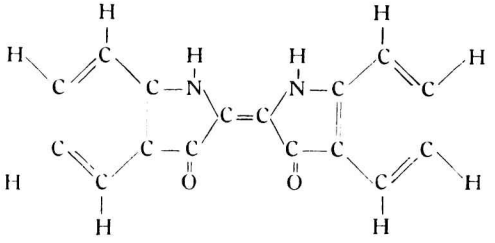
Fig. 79. Das Molekül des Naphthalins = $C_{10}H_8$.
(Zwei Kohlenſtoffringe verbunden. $2 \times 6 - 2 = 10$.)

Verbindungen, vom griechischen heteros (anders). Zweitens sind wir nicht auf den sechsgliedrigen Ring beschränkt. Es sind sowohl Ringe mit weniger, als mit mehr Gliedern möglich und kommen auch vor. Beispielsweise baut sich das Kautschukmolekül nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen um einen achtgliedrigen Ring auf. Drittens endlich braucht ein Molekül nicht nur einen Ring zu enthalten, sondern es können mehrere Ringe in ihm verbunden sein, wobei nun wiederum zwei Möglichkeiten zu unterscheiden sind. Die Ringe können unmittelbar aneinanderliegen, also eine Seite und zwei Ecken gemein haben. Das ist beispielsweise bei dem Naphthalin, dem bekannten Mottenmittel, der Fall. Es enthält zwei Benzolringe, die nach der beistehenden Formel verbunden sind



und an den acht freien Ecken acht Wasserstoffatome enthalten (Fig. 79). Theoretisch steht dem nichts im Wege, auch eine noch größere Anzahl von Benzolringen in dieser Weise zu verbinden, und es sind Stoffe bekannt, deren Molekül sich zweifellos in dieser Weise aufbaut. Die einzelnen Ringe können aber auch in einfacherer Weise in Verbindung stehen, indem irgendeine zweiwertige Atomgruppe an je einer Ecke der beiden Ringe angreift.

Als Beispiel einer solchen Verbindung mag das Molekül des Indigos genannt werden, welches nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch besonderes Interesse bietet. Das Indigomolekül hat die beistehende Strukturformel:

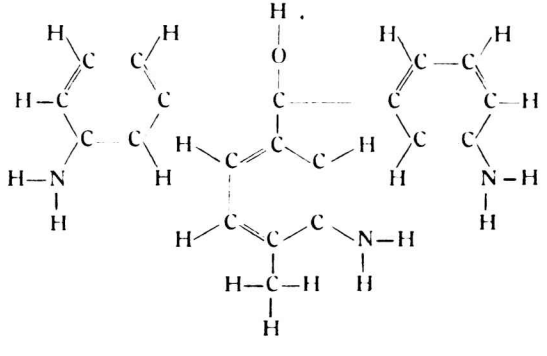


Es enthält zwei Benzolringe, bei denen je vier Ecken mit Wasserstoffatomen besetzt sind, während von den zwei freien Ecken je ein heterozyklischer Ring abzweigt. Dieser hat zwei Kohlenstoffatome mit dem Benzolring gemeinsam. An diese fügt sich einmal das zweiwertige Radikal NH, das andere Mal das gleichfalls zweiwertige CO. Als fünftes Glied schließt ein Kohlenstoffatom den Ring, welches dabei noch zwei Bindungen frei behält. An diese schließt sich die gesamte bisher besprochene Atomgruppe noch einmal an. Das ganze Molekül enthält also zwei sechsgliedrige karbozyklische und zwei fünfgliedrige heterozyklische Ringe.

Mit den Mitteln des chemischen Laboratoriums konnte man das Indigomolekül bereits seit geraumer Zeit aufbauen. Aber erst in den letzten Jahren des vorigen Jahrhunderts gelang es dem deutschen Chemiker A. von Baeyer, ein im großen brauchbares Herstellungsverfahren für den Indigofarbstoff zu finden, bei welchem der künstlich zusammengesetzte oder synthetische Indigo sich billiger stellte,

als der aus der Indigopflanze gewonnene natürliche Farbstoff. Von diesem Augenblick an ging die Indigokultur in Vorderindien unaufhaltsam zurück und ist heute fast vollkommen verschwunden. Viele tausende Hektar indischen Ackerbodens wurden dadurch wieder für den Anbau von Feldfrüchten frei. Die deutsche Erfindung trug auf diese Weise merklich zur Linderung der chronischen indischen Hungersnot bei, aber sie schürte auch den Unwillen der Engländer, der schließlich im Weltkriege zum Ausbruch kam.

Als ein anderes Beispiel dieser vielringigen Verbindungen sei noch das Rosanilin genannt. Es ist, theoretisch betrachtet, ein Methylalkohol, bei dem die drei Wasserstoffatome durch drei Benzolringe ersetzt sind, und hat die folgende Strukturformel



Wie der Name besagt, ist das Rosanilin ein roter Farbstoff. Ersetzt man aber die Wasserstoffatome seiner Benzolringe nach und nach durch Methylradikale, so entstehen neue Farbstoffe, die vom Rot hin immer mehr zum Violett umschlagen. Der bekannteste dieser Farbstoffe ist

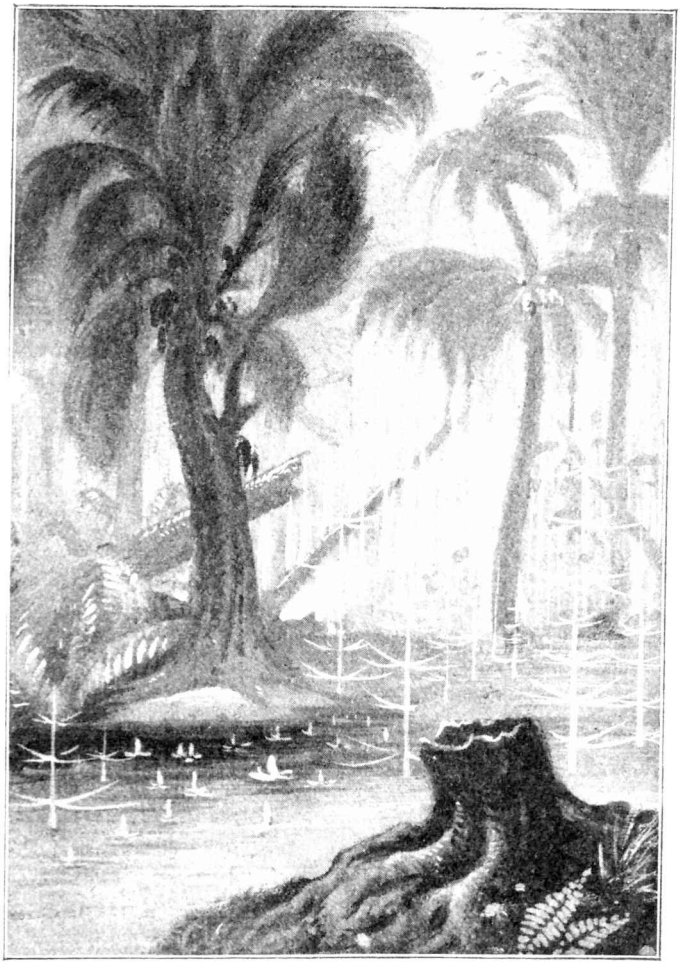


Fig. 80. Der Steinkohlenwald der Primärzeit.

Vor hundert Millionen Jahren wurde er verschüttet. Als Steinkohle kam er wieder zutage. In der Retorte liefert er die Farben und Düfte vergangener Herrlichkeit.

das Methylviolett der Kopierstifte und der Farbbänder für Schreibmaschinen. Andere Substitutionen führen zu grünen und blauen Farbstoffen, die man sich alle aus dem Rosanilin entstanden denken kann. Die Farbstoffchemie hat diese eigentümlichen Farbenwirkungen der verschiedenen Radikale genau studiert und vermag mit ziemlicher Sicherheit vorauszusagen, welche Farbstoffe bei dieser oder jener Umänderung einer Atomgruppe entstehen werden.

Es erscheint fast wie ein Märchen, wenn man die wunderbar farbenprächtigen Stoffe betrachtet, welche die Chemie aus dem schwarzen, unansehnlichen Teertopf entstehen läßt. Die bunten Blüten einer längst vergangenen Urwelt (Fig. 80) scheinen hier unter den Beschwörungskünsten der modernen Chemie zu neuem Leben zu erwachen. In poetischer Weise hat Heinrich Seidel diesem Gedanken in den folgenden Versen Ausdruck gegeben:

„Und wieder her aus Teer und Schmeer
zu neuem Glühn
In heller Macht, in Flammenpracht
Die Farben blühn,
Die einst im heiß durchfeuchteten,
Im wilden Urwald leuchteten:
Blau, Rot und Grün."

Aluminothermie

Thermos heißt im Griechischen die Wärme. Nach diesem Worte hat der Erfinder einer neuen, besondere Wärmewirkungen erzeugenden Chemie, der Dr. Hans Goldschmidt, die neue Bezeichnung Thermit für eine ganze Reihe chemischer Mischungen gebildet, die eben imstande sind, solche Wärmewirkungen hervorzubringen. Das älteste und bekannteste Thermit ist eine Mischung von Eisenoxydul von der Zusammensetzung Fe_2O_3 und metallischem Aluminium Al. Das Eisenoxydul ist jene schwärzlich aussehende Eisensauerstoffverbindung, die sich beim Glühen metallischen Eisens an der Luft bildet und in Schmieden und Schlossereien als sogenannter Hammerschlag auftritt. Dies feinkörnige Eisenoxydul und ebenso fein gekörntes Aluminiummetall bilden im Verhältnis von etwa drei zu eins gemischt das Aluminiumthermit.

Für einen Versuch füllen wir einen feuerfesten Tiegel mit etwa 1 bis 2 Kilogramm dieses unscheinbaren Pulvers und bringen ein Sturmstreichholz, das eine besonders heiße Flamme gibt, an das Gemenge. Im Augenblick beginnt die chemische Reaktion. Das Thermit glüht an der entzündeten Stelle hellweiß auf, und die Glut schreitet unter heftigem Funkensprühen schnell durch das ganze Gemenge fort. Die Feuererscheinungen werden so lebhaft, daß man gut daran tut, eine Schutzhaube aus Eisenblech über den Schmelztiegel zu setzen. In etwa 10 Sekunden ist die chemische Reaktion vollendet, und es steht nun eine feurig-

flüſſige Maſſe mit einer Temperatur von annähernd 3000 Grad Celſius im Schmelztiegel.

Was iſt hier geſchehen? Die Unterſuchung des Schmelzgutes gibt uns die Antwort auf dieſe Frage. Wir finden im unteren Teile des Tiegels ein außergewöhnlich reines Eiſen und darüber geſchmolzene Tonerde, d. h. Aluminiumoxydul. Es hat ſich alſo eine chemiſche Reaktion nach der folgenden Formel abgeſpielt:

$$Al_2 + Fe_2O_3 = Fe_2 + Al_2O_3 .$$

Der Sauerſtoff hat ſich vom Eiſen getrennt, ſo daß dies rein metalliſch zurückblieb, und hat ſich dafür mit dem Aluminium verbunden. Nun ſind ſowohl das Eiſenoxydul als auch die Tonerde endotherme Verbindungen, d. h. man braucht einen gewiſſen Energieaufwand, um den Sauerſtoff ſowohl vom Eiſen als auch vom Aluminium zu trennen. Aber die Tonerde iſt ſehr viel endothermer als das Eiſenoxydul. Man kann dieſe Verhältniſſe vielleicht noch bildhafter erklären, wenn man die chemiſchen Verwandtſchaften mit den Goetheſchen „Wahlverwandtſchaften" vergleicht. Dann läßt ſich wohl ſagen, daß die Ehe, die der Sauerſtoff im Eiſenoxydul mit dem Eiſen eingegangen iſt, nur eine verhältnismäßig lockere Verbindung iſt, daß es den Sauerſtoff dagegen mit unendlich viel größerer Neigung zum Aluminium hinzieht. Unter dieſen Verhältniſſen bedarf es dann nur eines verhältnismäßig geringen Anſtoßes, den eben das Sturmſtreichholz gibt, um die erſte Verbindung aufzuheben und den leichtfertigen Partner Sauerſtoff in die Arme des geliebten Aluminiums

zu treiben. Und so stark ist dabei der Überschwang der Neigung, daß alles in heller Glut erstrahlt.

Nüchterner und zahlenmäßig können wir die Dinge aber auch erklären, wenn wir die Bindungswärmen betrachten. Hier steht das Aluminium an dritter Stelle unter allen uns bekannten Körpern. Die erste und bei weitem höchste Stelle nimmt der Wasserstoff ein. 1 Kilogramm Wasserstoff, welches mit Sauerstoff zu Wasser nach der Formel H_2O verbrennt,

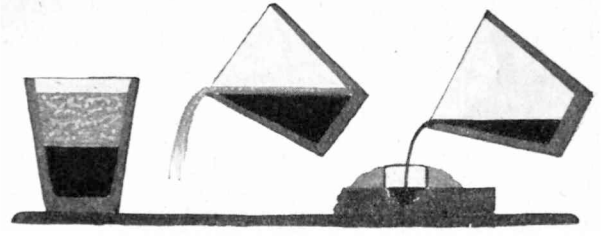


Fig. 81. Thermit im Tiegel.

Die Thermitreaktion hat sich vollzogen. Im Tiegel (links) steht unten schweres Thermiteisen, darüber leichte Korundschlacke. Beim Kippen des Tiegels (Mitte) fließt erst die Schlacke ab, danach (rechts) das Thermiteisen, das zum Ausgießen von Defekten an Eisenteilen benutzt wird.

entwickelt dabei 34553 Kalorien oder Wärmeeinheiten. An zweiter Stelle steht unser meist benutzter Brennstoff, der Kohlenstoff. 1 Kilogramm Kohlenstoff, welches zu Kohlensäure nach der Formel CO_2 verbrennt, entwickelt 7859 Kalorien. Dann aber folgt an dritter Stelle das Aluminium. Es entwickelt bei der Verbrennung zu Tonerde nach der Formel Al_2O_3 7140 Kalorien. Erst in weitem Abstande hinter Mangan, Phosphor, Natrium, Kalzium, Schwefel und Arsen folgt dann das Eisen. Es liefert bei der Verbrennung zu Eisenoxydul von der Formel Fe_2O_3 1768 Ka-

lorien. Den gleichen Betrag braucht man folgerichtig auch, um das Eisenoxydul wieder in Eisen und Sauerstoff zu zerlegen. Die Differenz dieser beiden Verbrennungswärmen von 7140 Kalorien für Aluminium und 1768 Kalorien für Eisen bildet daher den Wärmegewinn, der frei werden muß, wenn 1 Kilogramm Aluminium verbrennt und 1 Kilogramm Eisen aus seiner Sauerstoffverbindung reduziert wird.

In Wirklichkeit gestalten sich die Verhältnisse noch ein wenig anders, da Aluminium und Eisenoxydul im Thermit im Verhältnis ihrer Molekulargewichte zu mischen sind.

Das Atomgewicht des Eisens beträgt 55,84, das Atomgewicht des Sauerstoffes 16. Ein Eisenoxydulmolekül von der Form Fe_2O_3 wird daher ein Molekulargewicht von $2 \times 55{,}84 + 3 \times 16 = 159{,}68$ haben. Das Aluminium hat das Atomgewicht 27, das Aluminiummolekül daher das Molekulargewicht $2 \times 27 = 54$. Nach diesen Zahlen hat man daher im Thermit 160 Teile Eisenoxydul mit 54 Teilen Aluminium zu mischen, und bei der Reaktion sind 111 Gewichtsteile Eisen zu reduzieren und 54 Teile Aluminium zu oxydieren. Aber auch dann noch bleibt ein Kalorienüberschuß verfügbar, der die bereits genannte gewaltige Temperaturerhöhung des Schmelzgutes verursacht.

Der berühmte Physiker Ostwald bezeichnete das aluminothermische Verfahren einmal äußerst treffend als „einen Hochofen und ein Schmiedefeuer in der Westentasche" und kennzeichnete damit ganz besonders die gewaltige Energiedichte, die hier in einfacher Weise erreicht wird. Wie sehr diese Bemerkung zutrifft, zeigen auch die folgenden Zahlen, die Dr. Goldschmidt selbst über das Thermit gibt. Er ging

dabei von der Annahme aus, daß beim Abbrennen von 10 Kilogramm Thermit in jeder Sekunde 300 Kalorien entwickelt werden. Nach dem mechanischen Wärmeäquivalent ist 1 Kalorie gleich 425 Meterkilogramm, so daß das Thermit im angenommenen Falle sekundlich 127500 Meterkilogramm leistet, also mit 1700 Pferdestärken oder mit 1149 Kilowatt in einem mäßig großen Tiegel arbeitet. Um eine ähnlich

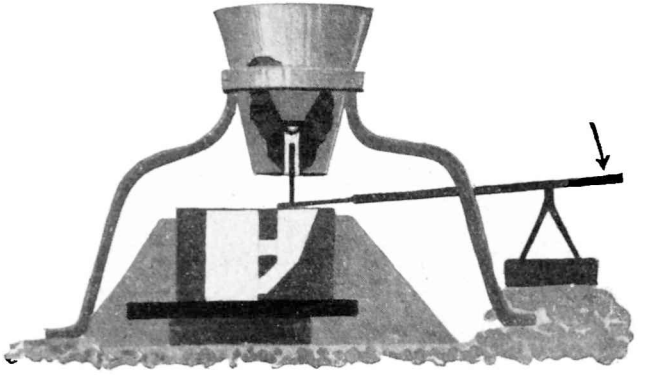


Fig. 82.

Kippt man den Tiegel nicht, sondern schlägt einen Spund im Tiegelboden heraus, so fließt zuerst das reine 3000° heiße Thermiteisen heraus und dann erst die Schlacke.

große Energieentwicklung und Energiedichte zu erzielen, müßte man schon eine elektrische Bogenlampe bei einer Lichtbogenspannung von 40 Volt mit einer Stromstärke von etwa 30000 Ampere brennen lassen, eine Sache, die technisch kaum durchführbar wäre. Selbst im elektrischen Ofen kann man dem Schmelzgut auf einem gleich kleinen Raum eine solche Energiemenge kaum zuführen.

Über die Energiedichte selbst gibt Goldschmidt noch die

folgende Aufſtellung. 10 Kilogramm Thermit nehmen nach beendigter Reaktion einen Raum von 3500 Kubikzentimeter ein. Dieſe 10 Kilogramm entwickeln während des Abbrennens eine ſolche Energiemenge, daß nach vollendeter Reaktion in jedem Kubikzentimeter 364,2 Meterkilogramm in Form von Wärmeenergie vorhanden ſind. Das iſt in der Tat eine Energiedichte, die in ähnlicher Höhe in keiner anderen techniſchen oder chemiſchen Kombination erreicht wird.

Der Leſer könnte vielleicht einwenden, daß Waſſerſtoff ja eine mehr als viermal ſo große Verbrennungswärme beſitzt als das Aluminium, und daß daher mit der Waſſerſtoff-Sauerſtoffflamme, dem Knallgasgebläſe, größere Leiſtungen erzielt werden müßten. Aber man darf nicht vergeſſen, daß der Waſſerſtoff ein Gas iſt, und daß 1 Kilogramm davon unter Atmoſphärendruck einen Raum von rund 4 Kubikmeter beanſprucht, und daß das Ergebnis der Verbrennung, der Waſſerdampf, infolge der Erhitzung ein noch beträchtlich größeres Volumen einnimmt. Es laſſen ſich deshalb mit dem Knallgasgebläſe auch nicht annähernd ſo große Energiedichten, d. h. Konzentrationen einer großen Energiemenge auf einen kleinen Raum, erreichen, wie mit dem Thermit, bei dem keinerlei Gaſe auftreten und alle Beſtandteile vor und nach der Reaktion feſt bzw. feurigflüſſig ſind.

Das Thermit iſt nun nicht nur in chemiſcher Beziehung, ſondern auch in techniſcher Hinſicht intereſſant und wichtig. Man hat hier, wie geſagt, in einem Schmelztiegel glutflüſſiges reines Eiſen, auf dem geſchmolzene Tonerde als feurig-flüſſige Schlacke ſchwimmt. Es gibt nun zwei Möglich-

keiten, dies feurige Schmelzgut aus dem Tiegel zu entfernen. Man kann den Tiegel langsam kippen und wird dann zuerst die oben schwimmende Schlacke abgießen. Man kann aber auch ein im Boden des Tiegels vorgesehenes Zapfenloch ausstoßen und bekommt dann zuerst einen Strahl des heißen Thermiteisens. Beide Arten werden in der Technik für das Flicken und das Schweißen eiserner und stählerner Bauteile verwendet (Fig. 81 u. 82).

Von der Hitze und Wirkung des Thermiteisens gibt ein einfacher Versuch eine Vorstellung. Legt man ein starkes Eisenblech hohl unter das Zapfenloch des Tiegels und stößt den Zapfen aus, so geht der heiße Eisenstrahl durch das Eisenblech hindurch wie etwa ein Strahl kochenden

Fig. 83.

Die Hitze des ausströmenden Thermiteisens wirkt so stark, daß ein in Wasser befindliches starkes Eisenblech von dem glühenden Eisenstrahl durchgeschmolzen wird, wie eine Wachsplatte von einem Strahl kochenden Wassers.

Waſſers durch eine Wachstafel. In der Technik macht man ſich dieſe Fähigkeit des Thermiteiſens, feſtes Eiſen bis zum Schmelzpunkt zu erhitzen, für die Ausführung von Schweißungen gebrochener Maſchinenteile zunutze. Die Bruchſtelle wird dabei durch Ausmeißeln von Eiſen ſo weit vergrößert und erweitert, daß die Bruchſtücke nicht mehr ſcharf aufeinander paſſen, ſondern ein Spalt von etwa einem Zentimeter Breite zwiſchen ihnen klafft. Danach werden

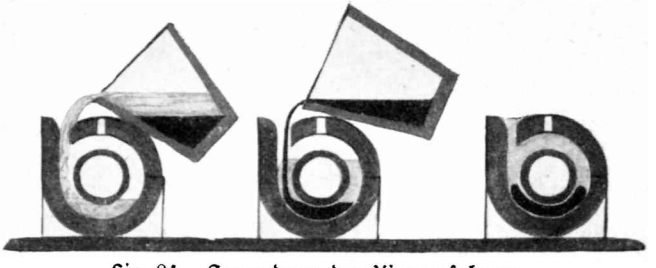


Fig. 84. Anwendung des Kippverfahrens, um Rohre ſtumpf zuſammenzuſchweißen.

Der Tiegel wird in die um den Rohrſtoß herumgebaute Form ausgekippt. Unten umhüllt Thermiteiſen, oben Korundſchlacke den Stoß.

die Stücke genau in die gegenſeitige Lage gebracht, die ſie nach ihrer Vereinigung haben ſollen, und die Bruchſtelle wird mit einer Form aus feuerfeſtem Ton ummantelt. Dieſe hat nach oben hin eine Eingußſtelle, über der ein Schmelztiegel von genügender Größe aufgebaut und mit der benötigten Thermitmenge beſchickt wird.

Dieſe Vorbereitungen nehmen den größten Teil der Zeit in Anſpruch. Denn nun folgt das Anzünden des Tiegels, und nach etwa einer Minute kann man das Zapfenloch ausſtoßen. Das heiße Thermiteiſen läuft in ſtändigem

Strahl in die Form. Es füllt den Spalt zwischen den Bruchstücken, erweicht diese an der Bruchstelle bis zum Schmelzen, vermischt sich mit dem geschmolzenen Eisen und bildet so eine feste, verschmolzene oder verschweißte Verbindung zwischen ihnen, die zum mindesten ebenso fest ist, wie das Material des ganzen Werkstückes. Damit ist die Reparatur vollzogen, und es erübrigt sich nur noch, die Abkühlung abzuwarten und dann die Form abzunehmen.

Bei dem zweiten Verfahren benutzt man nicht das Eisen, sondern die Schlacke. Sind beispielsweise zwei Straßenbahnschienen oder zwei Rohre zu verschweißen, so bringt man diese, mit den stumpfen Stößen aneinandergesetzt, in eine Art Preßvorrichtung, die es gestattet, die Stöße unter sehr starkem Druck aneinanderzupressen. Danach wird eine feuerfeste Form um die Stoßstelle gebaut und nun aus dem Schmelztiegel nach vollzogener Reaktion nur die heiße Schlacke in die Form gegossen. Auch diese erhitzt die Stoßränder bis zur hellsten Weißglut und beginnenden Erweichung. Schon nach wenigen Minuten kann man die beiden Stücke mittels der Presse zusammenziehen, und die Schweißung ist damit vollendet. Nach dem Erkalten und nach Abnahme der Form kann die erstarrte Schlacke mit wenigen Hammerschlägen entfernt werden, da sie sich mit dem Eisen nicht bindet, sondern wie Glas abspringt.

Der Vollständigkeit halber sei auch noch ein besonders für Schienenschweißungen benutztes kombiniertes Verfahren erwähnt, bei dem sowohl das Eisen als auch die Schlacke benutzt werden. Hierbei wird der ganze Inhalt des Schmelztiegels in die Form abgelassen, derart, daß das Thermiteisen

den Schienenfuß und den unteren Teil des Schienenſteges, die Schlacke den oberen Teil und den Schienenkopf umgibt. Nach dem Zuſammenpreſſen und vollendeter Abkühlung wird der Schienenkopf von der Schlacke befreit, während der Schienenfuß eine dauernde Verſtärkung von Thermiteiſen erhalten hat. Für die Wichtigkeit und praktiſche Bedeutung des Verfahrens mag der Umſtand ſprechen, daß heute bereits mehrere Millionen Schienenſtöße nach dem aluminothermiſchen Verfahren verſchweißt ſind.

Intereſſe bietet auch die Schlacke. Sie beſteht aus geſchmolzener Tonerde, die bei der Abkühlung nicht amorph, d. h. ſtrukturlos, erſtarrt, ſondern kriſtalliſiert. Kriſtalliſierte Tonerde iſt aber nichts anderes als Korund. Korund, der durch ein wenig Chromoxyd rot gefärbt iſt, iſt nun wiederum nichts anderes als der ſo hoch geſchätzte Edelſtein Rubin. Korund, der durch ein wenig Kobaltoxyd blaue Färbung erhielt, bildet einen anderen Edelſtein, den Saphir. Chrombeimengungen kommen nun verhältnismäßig leicht vor, ſobald das Eiſenoxydul aus chromhaltigem Eiſen oder Stahl gewonnen wurde. In dieſem Falle bilden ſich in der erſtarrenden Schlacke ganze Neſter hübſcher roter Kriſtalle, die ſich bei der Unterſuchung als reine Rubine erweiſen. Bringt man ſie beiſpielsweiſe in die evakuierte Röhre und ſetzt ſie den Kathodenſtrahlen aus, ſo leuchten ſie genau wie die echten Rubine in einem wunderbaren roten Glanze. Im allgemeinen ſind es nur kleine Kriſtällchen, aber gelegentlich bei der Schmelzung großer Thermitmengen und entſprechend langſamer Abkühlung und Erſtarrung kommen doch auch recht anſehnliche Kriſtalle bis zur Bohnengröße

vor. Man kann daher mit Fug und Recht behaupten, daß beim aluminothermischen Verfahren Rubine gewissermaßen als Abfallprodukte entstehen. In jedem Falle besteht die gesamte Schlacke aus reinem Korund, der nächst dem Diamanten der härteste Körper ist und daher ein vorzügliches Schleifmittel abgeben muß. Die Thermitschlacke wird daher auch sorgfältig gesammelt, pulverisiert und als ein hochwertiges Schleifmittel verwendet. Sie ist dem Schmirgel,

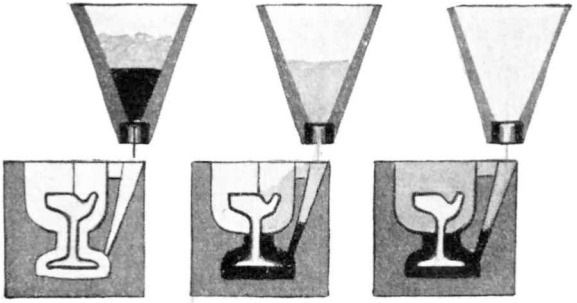


Fig. 85. Anwendung des Thermites, um Straßenbahnschienen an den Stoßstellen zu verschweißen. Tiegelabstich von unten her.

Eine Eisenlasche bildet sich um den Schienenfuß und die untere Hälfte der Schienen. Die Schlacke, die den Oberteil umhüllt, wird nach dem Erkalten weggeschlagen.

der in der Hauptsache ebenfalls aus Korund besteht, aber stets Verunreinigungen enthält, bedeutend überlegen.

In den bisherigen Betrachtungen haben wir das Aluminiumthermit kennengelernt. Es bestand aus einem gediegenen Metall und einer Metall-Sauerstoffverbindung. Bedingung für eine Thermitreaktion, d. h. für eine chemische Umsetzung unter dem gleichzeitigen Auftreten bedeutender Wärmemengen, war es dabei, daß die dabei entstehende

Sauerſtoffverbindung des im Thermit vorhandenen gediegenen Metalls weſentlich endothermer war als das Metalloxyd ſelbſt. Nimmt man dieſe von Goldſchmidt für das Thermit gegebene Definition als bindend an, ſo ſind nun ſofort eine große Anzahl anderer Thermite denkbar.

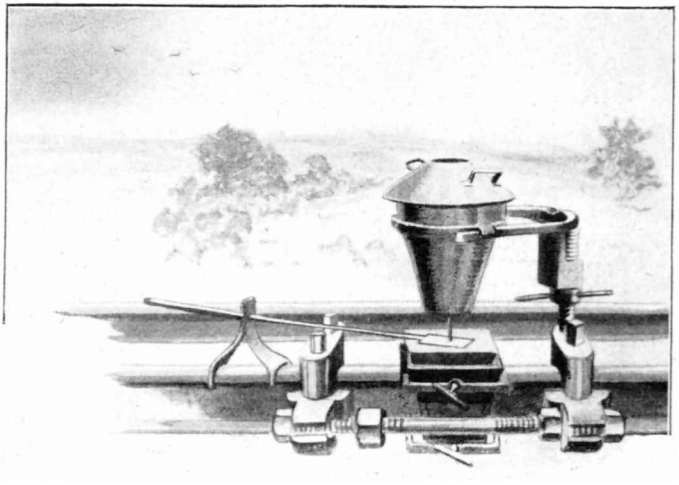


Fig. 86. Schienenſchweißung mittels Thermit.
Die Abbildung zeigt die Preßvorrichtung, mit der die Schienen zuſammengepreßt werden, nachdem die Stoßſtelle durch das heiße Thermit erweicht iſt.

Man kann das Aluminium, deſſen hoher Verbrennungswert bereits angegeben wurde, als das gediegene Metall des Thermits beibehalten, aber an Stelle des Eiſenoxyduls die Sauerſtoffverbindungen anderer Elemente nehmen. Daraus ergibt ſich eine Reihe verſchiedener Aluminiumthermite, die nun nach vollzogener Reaktion nicht mehr Thermiteiſen, ſondern das Metall des ihnen jeweilig bei-

gemischten Metalloxyds ergeben. Diese Thermite werden nun in der Praxis besonders zur Darstellung derjenigen Stoffe benutzt, die in der modernen Stahlfabrikation eine Rolle spielen, insbesondere zur Darstellung des Chroms, des Kobalts, des Molybdäns, des Nickels und des Wolframs. Für eine gute und zuverlässige Stahlerzeugung ist es erforderlich, daß diese Stoffe möglichst rein, möglichst frei von fremden und unkontrollierbaren Beimengungen zur Verfügung stehen. Nun ist es ausnahmslos möglich, die Sauerstoffverbindungen der genannten Metalle verhältnismäßig wohlfeil in einer weitgehenden Reinheit darzustellen, während die Reduktion der Metalle selbst aus diesen Sauerstoffverbindungen umständlich und kostspielig wird, wenn man Wert auf ein wirklich reines Erzeugnis legt. Durch das Thermitverfahren ist man dagegen in der Lage, alle diese Metalle in großen Mengen und billig aus ihren Sauerstoffverbindungen zu gewinnen. Als Goldschmidt seine Arbeiten auf dem Gebiete der Thermitchemie begann, war beispielsweise reines Vanadiummetall noch 30mal so teuer als Gold. Man schätzte den Preis eines Kilogramms auf 100000 Goldmark. Goldschmidt selbst besaß eine Schlipsnadel, die als Schmuckstück ein etwa bohnengroßes Stück gediegenen Vanadiums enthielt. Heute dagegen wird dies Metall nach dem Thermitverfahren tonnenweise in reinem Zustande hergestellt und für die Fabrikation von Vanadiumstahl benutzt.

Eine andere Reihe von Thermiten ergibt sich, wenn man das gediegene Metall verändert, also das Aluminium durch etwas anderes ersetzt. Ohne weiteres können Metalle,

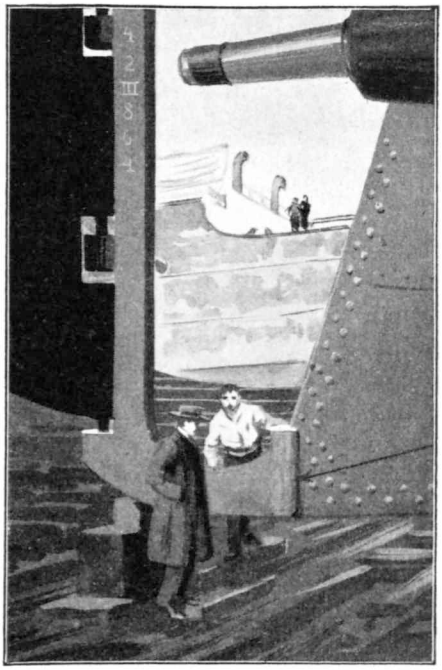


Fig. 87. Reparatur des gebrochenen Hinterſtevens eines großen Ozeandampfers.
Unten in der Mitte die durch einen Wulſt von Thermiteiſen kenntliche Reparaturſtelle.

die eine ähnlich ſtarke Verwandtſchaft zum Sauerſtoff beſitzen, das Aluminium vertreten. Man kann alſo die Alkalimetalle Kalium, Natrium und weiter auch Kalzium und Magneſium an Stelle des Aluminiums nehmen. Da dieſe Metalle aber bei der weiteren Thermitreaktion in ihre Sauerſtoffverbindungen übergeführt werden, ſo könnten dieſe Thermite nur dann praktiſche Bedeutung gewinnen,

wenn die betreffenden Metalle, die bei der Thermitreaktion das Brennmaterial abgeben, erheblich billiger wären als das Aluminium. Da dies jedoch nicht der Fall ist, so haben diese mannigfaltigen Thermite nur wissenschaftliches Interesse. Für die Praxis kommen ausschließlich Aluminiumthermite in Frage. Von ihnen findet das Aluminium-Eisenthermit für die geschilderten Schweißarbeiten weitgehendste Verwendung, während die anderen Aluminiumthermite der Reindarstellung von Metallen für die Zwecke der Hüttentechnik dienen.

Metallurgie

Aus der großen Zahl der chemiſchen Elemente faſſen wir eine kleinere Gruppe unter der Bezeichnung der Metalle zuſammen. Allen Metallen gemeinſam iſt der eigenartige metalliſche Glanz und die Schmelzbarkeit bei höheren oder tieferen Temperaturen. Im allgemeinen ſind alle Metalle bei gewöhnlicher Temperatur feſt. Die einzige Ausnahme bildet das Queckſilber, welches erſt bei 40 Grad unter Null erſtarrt. In früheren Jahrzehnten beſtand auch eine gewiſſe Neigung, den gasförmigen Waſſerſtoff als ein Metall zu betrachten, doch iſt man von dieſer Anſchauung inzwiſchen wieder abgekommen und ſtellt ihn heute im natürlichen Syſtem der Elemente in die Reihe der ſalzbildenden Stoffe.

Die Metalle ſelbſt teilt man in edle und unedle Metalle. Unter den erſteren verſteht man ſolche, die ſich verhältnismäßig ſchwer mit dem Sauerſtoff zu Oxyden verbinden und deshalb auch in der Natur gediegen gefunden werden. Es ſind dies beſonders Gold, Silber und die Metalle der Platingruppe. Ein wenig mag aber bei dieſer Unterteilung auch die größere oder geringere Seltenheit und die dadurch bedingte Koſtbarkeit der Metalle mitgeſprochen haben, denn manche unedle Metalle, wie Kupfer, Zinn, Queckſilber und gelegentlich ſogar Eiſen, werden auch des öfteren gediegen gefunden.

Für die Entwicklung der menſchlichen Kultur ſind die Metalle von der allergrößten Bedeutung geweſen. Teilen

wir doch die Kulturgeſchichte geradezu nach den wichtigſten Werkſtoffen ein und ſprechen vom Steinzeitalter, in dem

Fig. 88.
Die Entdeckung des Metalls.
Aus der Herdmauer der Höhlenmenſchen rinnt ein glutflüſſiger Strom.

die Menschheit nur den Feuerstein für ihre Werkzeuge zur Verfügung hatte, vom Bronzezeitalter, in dem sie über eine Legierung von Zinn und Kupfer verfügte, vom Eisenzeitalter, in dem das graue Eisenmetall die goldschimmernde Bronze ersetzte, und schließlich vom Stahlzeitalter, in welchem das Eisen dem mächtigeren Stahl weichen mußte.

Die Unterscheidung in diese Zeitalter ist übrigens nur bedingt zu verstehen. Auf einzelnen Inseln der Südsee leben wilde Stämme noch heute im Steinzeitalter. Sie kennen keine Metalle und fertigen ihre Waffen aus Stein. Denken wir ferner an die bronzenen Kanonen und an die bronzenen Kirchenglocken, so ragt stellenweise auch in Europa die Bronzezeit noch bis in das letzte Jahrhundert hinein. Gedenken wir andererseits der wundervollen eisernen Schmiedearbeiten indischer und ägyptischer Herkunft, die vermutlich bis in das dritte Jahrtausend vor Christus zurückgehen, so können wir andererseits sagen, daß die Eisenzeit in jenen Ländern schon sehr früh begonnen haben muß.

Wir können es uns wohl denken, wie der Urmensch vergangener Jahrtausende auf die Bronze verfiel. In der Natur findet sich der Zinnstein, ein reines Zinnoxyd von der Form SnO_2, ein besonders schweres, dunkles Mineral, welches zweifellos wegen seines hohen spezifischen Gewichtes schon sehr früh als Schleuderstein und Wurfgeschoß in den Kämpfen der Urzeit bevorzugt wurde. In gleicher Weise kommt auch das Kupfer als Rotkupfererz von der Form Cu_2O als ein reines Kupferoxyd vor. Will man aus diesen Erzen das gediegene Metall gewinnen, so muß man sie vom Sauerstoff trennen, muß sie also reduzieren.

In der Hüttentechnik ist aber von alters her bis auf unsere Tage die sauerstoffarme reduzierende Flamme das gebräuchliche Mittel für solche Trennungen. Es wird dabei Kohle, d. h. Kohlenstoff unter Sauerstoffmangel, verbrannt, so daß sich nicht Kohlensäure von der Form CO_2, sondern nur Kohlenoxydgas von der Form CO bilden kann. Es ist hier das einzige Mal, daß der Kohlenstoff seine sonst ausnahmslos vierwertige Natur verleugnet, zwei seiner Valenzen gewissermaßen in sich selbst bindet und nun mit den beiden anderen nur ein zweiwertiges Sauerstoffatom faßt. Aber diese Verbindung, dies Kohlenoxydgas ist ungesättigt.

Die beiden einstweilen unbeschäftigten, gewissermaßen untereinandergeschlagenen Arme des Kohlenstoffes suchen dringend nach einer Betätigung. Wir merken das sehr zu unserem Leidwesen, wenn wir einmal unglücklicherweise Kohlenstoffoxyd einatmen. Durch Vermittlung der Lunge stürzt es sich sofort auf unsere roten Blutkörperchen und geht mit diesen eine untrennbare Verbindung ein. Auch die Kohlensäure verbindet sich ja im natürlichen Stoffwechselprozeß mit den roten Blutkörperchen. Aber diese Verbindung ist leicht löslich. Sobald das tief blaurot gefärbte Blut unseres Venensystems wieder die Lungen erreicht, trennt sich die Kohlensäure leicht und gern von den roten Blutkörperchen, und mit dem eingeatmeten Luftsauerstoff bilden diese das frische, hellrot gefärbte, arterielle Blut. Hat der Mensch dagegen so viel Kohlenoxydgas eingeatmet, daß ein größerer Teil seiner roten Blutkörperchen mit diesem verbunden ist, so ist er verloren. Noch Tage

ſpäter, nachdem er aus der verderblichen Kohlenoxydatmoſphäre gerettet wurde, kann er an innerer Erſtickung zugrunde gehen, weil die an das Giftgas gefeſſelten Blutkörperchen untrennbar damit verbunden bleiben.

Was aber für den menſchlichen Organismus ſo verderblich wirkt, das erweiſt ſich bei der Metallgewinnung als äußerſt nützlich. Ein erhitztes Metalloxyd, das von heißen Kohlenoxydgaſen umſtrömt wird, wird ſtets reduziert werden. Gierig reißt das Kohlenoxyd das Sauerſtoffatom an ſich, welches es zur Bildung von Kohlenſäure benötigt, und gediegenes Metall bleibt an Stelle des Erzes zurück.

Stellen wir uns nun einmal vor, wie die Entdeckung der Bronze in altersgrauer Urzeit wohl vor ſich gegangen ſein mag. Das Feuer beherrſchte der Menſch jener Tage ja ſchon. In ſeiner Höhle brannte es Tag und Nacht im ſorgſam gemauerten Herd. Aus mancherlei Steinen wurde die Herdmauer gefügt. Der Zufall brachte es mit ſich, daß einmal Roterz und Zinnſtein zum Bau der Herdmauer benutzt wurden. Des Nachts über ſollte das Feuer nur langſam glimmen. Mit Aſche und Erde bedeckte man die Herdglut, um ihr den Sauerſtoff abzuſchneiden, allzu ſtarkes Brennen über Nacht zu vermeiden. Gerade noch zur Bildung von Kohlenoxyd langte die Zufuhr von Luftſauerſtoff, und mancher Höhlenbewohner mag zu jenen Zeiten an einer Kohlenoxydvergiftung zugrunde gegangen ſein.

Aber in dieſem einen Falle fand das Feuer den Sauerſtoff ja in der Herdmauer. Kupferoxydul und Zinnoxyd boten ihn dem Kohlenoxydgas der ſchwelenden Glut willig

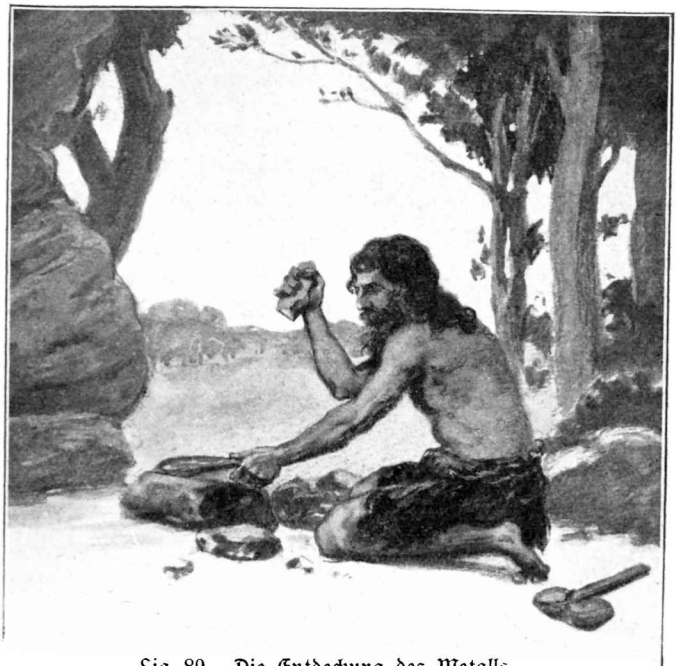


Fig. 89. Die Entdeckung des Metalls.
Die erstarrte Masse, die glutflüssig aus der Herdmauer geflossen war, erweist sich als hämmerbar. Es ist gute Bronze, eine Kupfer-Zinnlegierung.

dar. Als der Morgen kam, da waren die Erze reduziert, nur aus schwammigem Kupfermetall und Zinnmetall setzte sich die Herdmauer zusammen. Und nun sollte die Morgensuppe gekocht werden. Frische Holzscheite wurden in die Glut geworfen, mächtige Flammen loderten aus dem befreiten Herdfeuer. Und dann erlebte jener Höhlenbewohner eine unangenehme Überraschung. Er sah, wie seine scheinbar so fest gefügte Herdmauer plötzlich zusammen-

ſackte, wie ein rotglühender Bach aus ihr niederfloß und ſich auf dem Höhlenboden ausbreitete (Fig. 88).

Einſtweilen war nichts dagegen zu tun. Er mußte den Dingen ſeinen Lauf laſſen. Als aber das Feuer niedergebrannt und die Schmelze abgekühlt war, da ging er an die Unterſuchung. Er fand einen klingenden Stoff, der goldgelben Glanz gab, als er ihn mit dem Feuerſteinmeſſer ſchabte. Und er fand, daß ſein Meſſer dabei ſchnell verdorben wurde, daß dieſer neue Stoff härter und widerſtandsfähiger war als ſein Steinmeſſer, und daß er ſich durch ſchwere Schläge mit einem Stein formen ließ (Fig. 89).

So wurde die Bronze entdeckt. Tauſendmal vielleicht, bis ein forſchender Geiſt den Dingen nachging, den neuen Stoff noch einmal ins Feuer warf, ſah, wie er wieder floß, und die Gießkunſt erfand. So lernte der Urmenſch die Bronze aus ihren Erzen erſchmelzen und in Formen gießen. Es war doppeltes Glück bei dieſer Entdeckung. Erſtens einmal iſt die Bronze, jene Legierung aus Zinn und Kupfer, außerordentlich viel härter als das weiche Kupfer und das noch viel weichere Zinn. Zweitens aber ſchmilzt die Bronze bei geringerer Temperatur, als das ziemlich ſtreng flüſſige Kupfer. Während man Kupfer im Kohlenfeuer eigentlich nur bei Verwendung eines künſtlichen Zuges niederſchmelzen kann, ſchmilzt Bronze bereits über einem mit natürlichem Zuge brennenden Holzfeuer. Mit dem neu entdeckten Werkſtoff begann ein neues techniſches und kulturelles Zeitalter. Sehr ſchnell fand man heraus, daß Bronzemeſſer und Bronzebeile den Steinwaffen unendlich überlegen waren, und daß man ſie in Formen viel

Fig. 90. Die Entdeckung des Eisens.

Ein Meteor wird im Sturze beobachtet. Es besteht aus reinem Nickeleisen, das sich, auf Rotglut erhitzt, ebenso wie Bronze hämmern und schmieden läßt.

Fig. 91.
Herſtellung von Eiſen aus Raſeneiſenſtein (kohlensaurem Eiſenoxyd) im Rennfeuer (Friſchfeuer).
Das Friſchen die älteſte Art der Eiſengewinnung.

ſchneller und leichter gießen konnte, als man Meſſer und Beile aus Steinen zurechtſchlagen und ſchleifen konnte.

Jahrtauſende hindurch dauerte das Zeitalter der

Bronze. Wiederum bedurfte es besonderer Glückszufälle, um zum nächsten Metall, zum Eisen, zu gelangen. Auch das Eisen kommt, und zwar gewöhnlich mit etwas Nickel legiert, gelegentlich gediegen in der Natur vor. Freilich besteht die begründete Vermutung, daß alles derartige Eisen meteoritischen Ursprungs und zu irgendeiner Zeit einmal vom Himmel auf die Erde gefallen ist. Es leuchtet wohl ein, daß etwas Derartiges auf die Menschen der Urzeit einen ganz gewaltigen Eindruck machen mußte, daß Meteoreisenstücke, deren Sturz man beobachtet hatte (Fig. 90), als etwas besonders Heiliges und von den Göttern Gespendetes in Verwahrung genommen wurden. Auf diese Weise mögen die Menschen der Urzeit in den Besitz des ersten gediegenen Eisens gekommen sein. Der metallartige Charakter dieses neuen Stoffes, eine gewisse Ähnlichkeit desselben mit der bereits bekannten Bronze, dürfte ihnen nicht entgangen sein. Neugier und Wissensdrang können sie veranlaßt haben, dies Eisen dem Feuer auszusetzen und die Schmiedbarkeit des rotglühenden Eisens zu entdecken. Der Hammerschlag, das Eisenoxydul Fe_2O_3, welches sich dabei bildete, mag dann wohl weiter den Weg zu den natürlichen Eisenerzen von der gleichen Zusammensetzung gewiesen haben, und in logischer Weiterentwicklung bildete sich die Kunst der Eisengewinnung und Verarbeitung heraus.

Noch heute finden wir bei einzelnen, recht tief stehenden wilden Völkern, z. B. bei den Kaffern Afrikas und den Malaien Hinterindiens, die Kunst, mit Hilfe eines äußerst primitiven, dudelsackartigen Gebläses und eines einfachen Holzkohlenfeuers aus dem Raseneisenstein, der sich unmittel-

bar unter der Erdoberfläche unter dem Rasen findet, ein gutes schmiedbares Eisen zu gewinnen (Fig. 91). Die gewonnenen Mengen sind dabei freilich klein. Ihr Gewicht zählt eher nach Pfunden als nach Zentnern, aber für den geringen Bedarf dieser wilden Stämme reicht das Gewonnene vollkommen aus. Unsere Zeit mit ihrem jährlich nach vielen Millionen Tonnen zählenden Eisenbedarf hat freilich ganz andere Wege eingeschlagen, die, chemisch betrachtet, sogar Umwege zu sein scheinen, aber dafür die wohlfeile Herstellung dieser gewaltigen und in der Qualität stets gleichbleibenden Mengen ermöglichen.

Die moderne Hüttentechnik erschmilzt aus den Eisenerzen zunächst im Hochofen das sogenannte Roheisen, welches, abgesehen von anderen Beimengungen, besonders durch einen hohen Kohlenstoffgehalt von rund 5 Prozent gekennzeichnet ist. Die Eisenerze, von denen der Hochofenprozeß ausgeht, sind besonders der Roteisenstein, ein Eisenoxyd von der Zusammensetzung Fe_2O_3, der Brauneisenstein, ein Eisenhydroxyd von der Zusammensetzung $2\,Fe_2O_3 \cdot 3\,H_2O$, und der Spateisenstein, ein Eisenkarbonat von der Zusammensetzung $FeCO_3$. Aber diese Erze sind kaum jemals vollkommen rein, sondern stets mit steinigen Beimengungen, der sogenannten Gangart, verunreinigt. Das letztgenannte Erz, der Spateisenstein, ist eine Verbindung von Kohlensäure und oxydiertem Eisen. Er läßt sich durch Rösten, d. h. durch kräftiges Glühen, von der Kohlensäure befreien und in einfache Eisensauerstoffverbindungen verwandeln. In der Hauptsache sind es also immer Eisensauerstoffverbindungen, welche durch den

Von oben her kommen Eisensauerstoffverbindungen (Eisenerz), Koks (Kohlenstoff) und Oxyde der Alkalimetalle (Zuschläge). Von unten her kommt heißer Sauerstoff (Gebläsewind).

Nach oben entweicht Gichtgas (Kohlenoxyd = CO). Nach unten fließen getrennt ab: Roheisen = Fe + C und Schlacke (geschmolzene Erden).

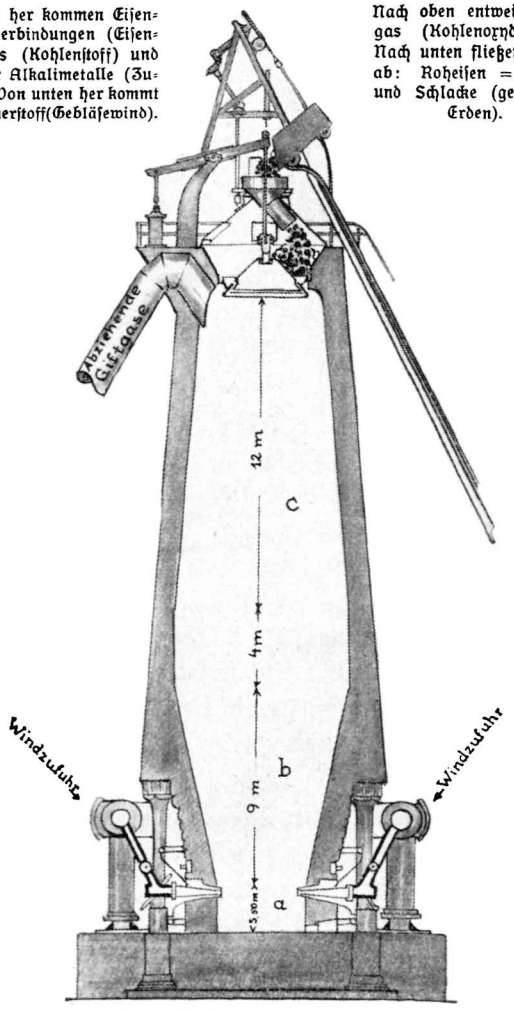


Fig. 92. Schematische Darstellung der Vorgänge im Hochofen.

Hochofenprozeß vom Sauerstoff und ferner von allen verunreinigenden Gangarten getrennt werden sollen, so daß als Endprodukt ein möglichst reines Roheisen gewonnen wird.

Der Ort dieses Prozesses ist der Hochofen, den Fig. 92 schematisch veranschaulicht. Aus der Figur geht deutlich hervor, daß der Innenraum dieses Ofens aus zwei abgestumpften Kegeln b und c besteht, die mit den größeren Flächen gegeneinander gerichtet und durch ein zylindrisches Zwischenstück voneinander getrennt sind. An den unteren Kegel schließt sich wiederum ein zylindrischer Teil, das sogenannte Ofengestell a. Verfolgen wir diese Anordnung noch einmal von unten nach oben, um dabei einen Begriff von den Abmessungen eines modernen großen Hochofens zu bekommen. Der Ofenraum beginnt mit dem Gestell a, welches eine Weite von etwa 4 Meter und eine Höhe von 3,5 Meter besitzt. In seinen oberen Teil münden die Windzuführungen e, welche die hocherhitzte Verbrennungsluft, den sogenannten Gebläsewind, unter einem Druck von einer halben bis einer Atmosphäre in den Ofenschacht leiten. Es folgt der kegelförmige Teil b, der sich an seinem oberen Ende bis auf etwa 8 Meter erweitert und etwa 9 Meter hoch ist. An ihn schließt sich der zylindrische Mittelofen von 8 Meter Weite und 4 Meter Höhe, an diesen der zylindrische Teil c, dessen oberes Ende sich bis auf etwa 6 Meter verjüngt. Diese obere Mündung, die Ofengicht, blieb in früheren Jahrzehnten offen, und die hoch aus dem Ofen herauslodernden Flammen boten besonders zur Nachtzeit ein schaurig schönes Bild. Gegenwärtig haben alle Hochöfen verschlossene Gichten. Die Gichtverschlüsse h sind nach dem

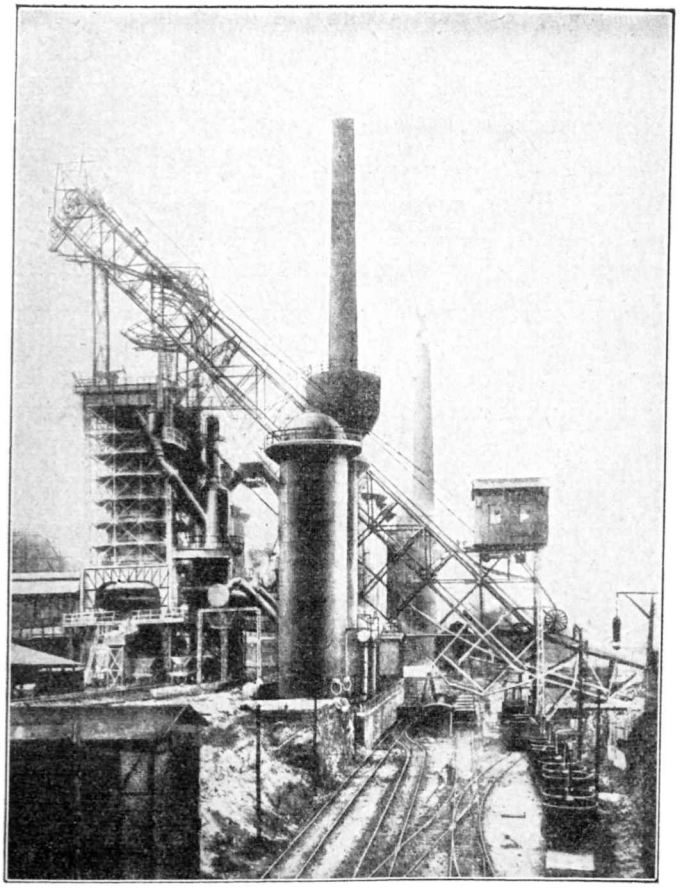


Fig. 93. Ansicht eines modernen Hochofens (errichtet von der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. Duisburg für die Gute Hoffnungshütte).
Der Hochofen (30 m hoch) verschwindet fast zwischen den zugehörigen Konstruktionen. Im Vordergrund ein Gasreiniger (runder Blechturm), in dem das Gichtgas gereinigt wird. Über dem Hochofen der schräge Gichtaufzug, auf dem Erz, Koks und Zuschläge hinaufbefördert und in die Gicht gekippt werden.

Prinzip von Schleusen gebaut. Man schleust die für die Beschickung des Ofens erforderlichen Stoffe gewissermaßen in den Ofen hinein, ohne etwas von den wertvollen Gichtgasen zu verlieren.

Die Beschickung des Hochofens besteht zu einem Teil natürlich aus dem Eisenerz, welches verhüttet werden soll. Zum anderen Teil ist selbstverständlich Brennstoff notwendig. Dieser kann nach der heutigen Lage nur Koks sein. Der Koks, das feste Endprodukt der trockenen Destillation der Steinkohle, ist ein ziemlich reiner Kohlenstoff. Verunreinigt nur durch die Gangart der Kohle, aus der er gewonnen wurde, und leider auch fast immer durch etwas Schwefel, den der Eisenhüttenmann sehr ungern im Hochofen sieht. Den dritten Teil der Beschickung bildet der sogenannte Zuschlag, dessen günstige Zusammenstellung eine Spezialwissenschaft des Hüttenchemikers ist.

Der Zweck des Zuschlags ist der folgende: Beim Verbrennen des Kokses im Hochofen bleiben die erdigen Bestandteile als schwer schmelzbare Koksschlacke zurück und würden nach genügender Zeit den ganzen Ofen erfüllen und verstopfen. Das gleiche gilt von den erdigen Beimischungen der Eisenerze. Der Zuschlag soll nun solche Stoffe enthalten, die mit den Bestandteilen der natürlichen Koks- und Eisenschlacke viel leichter schmelzbare und leichtflüssige Verbindungen eingehen. Der wesentlichste Bestandteil pflegt der Kalkstein zu sein. Er wird insbesondere für solche Erze gewählt, deren Gangart reich an Kieselsäure oder Tonerde ist. Ist im Gegenteil die Gangart selbst reich an Kalk und Magnesia, so wird als Zuschlag Quarz und Tonschiefer

gegeben, um die gewünschte Bildung leicht schmelzbarer Silikate (Kieselsäureverbindungen) zu erreichen. Die richtige Zusammensetzung des Zuschlags setzt eine genaue Kenntnis der Gangarten der zu verhüttenden Eisenerze voraus. Durch passende Mischung verschiedener Erzarten sucht man die Mengen der Zuschläge möglichst niedrig zu halten. Aber nur äußerst selten, beispielsweise in dem Hochofenwerk zu Ilsede bei Hannover, gelingt es, ganz ohne Zuschläge auszukommen.

Die Beschickung des Ofens geht nun in der Weise vor sich, daß abwechselnd eine sogenannte Koksgicht, etwa 7 Tonnen Koks, und eine Erzgicht, etwa 15 Tonnen Erz und Zuschläge in den Ofen gegeben werden. Diese beiden Beschickungen wechseln tagein tagaus, jahrein jahraus miteinander ab, solange der Ofen in Betrieb ist, und manche Öfen sind ununterbrochen zwanzig Jahre hindurch in Betrieb geblieben. Es fließt also ein Strom von festen Betriebsstoffen von oben, von der Gicht her, ständig nach unten und muß dort einen Ausweg oder Ablaß finden. Dieser ist auch tatsächlich im untersten Ofenteil, im Gestell, vorhanden, aus welchem abwechselnd das erschmolzene Roheisen und die flüssige Schlacke abgelassen werden.

In umgekehrter Richtung, von unten nach oben, verläuft der Weg des sauerstoffhaltigen heißen Windes, der sowohl die Verbrennung des Kokses als auch die Verhüttung des Erzes zu besorgen hat. Der bis auf 1000 Grad Celsius vorerhitzte Wind tritt mit großer Geschwindigkeit in den Ofen, trifft zunächst auf glühenden Koks und verbindet seinen Sauerstoff mit diesem sofort zu Kohlensäure. Aber dieser Zustand ist nicht von langer Dauer. Weiter strömend

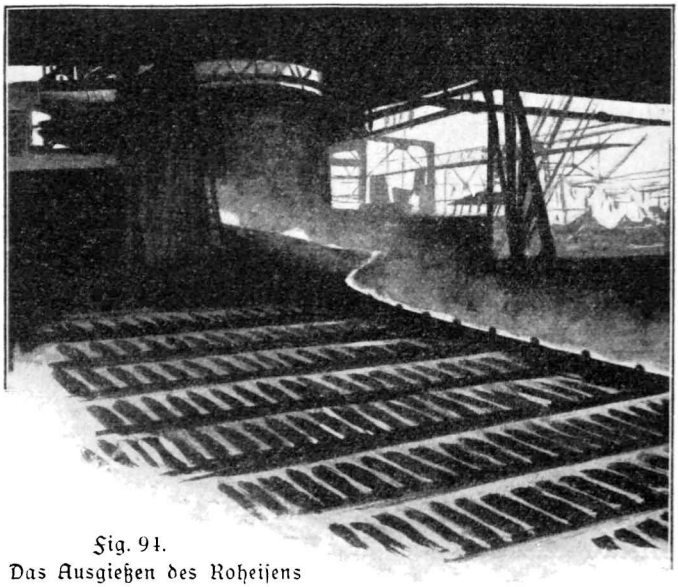


Fig. 94.
Das Ausgießen des Roheisens aus dem Hochofen in Masseln.

trifft der Wind auf immer neue heiße Koksmassen, die ihrerseits auch sauerstoffbegierig sind. Es findet daher wieder eine Aufspaltung der Kohlensäure CO_2 und eine Bildung der doppelten Menge von Kohlenoxydgas CO statt. Dieses Kohlenoxydgas ist aber das eigentlich wirksame Mittel des ganzen Prozesses.

Verfolgen wir nun den Weg der festen Beschickungen von oben nach unten. Sowohl Koks als auch Erz kommen oben kalt in den Ofen hinein, während ihnen von unten her die heißen Ofengase entgegenfließen. Der Prozeß arbeitet hier also wärmetechnisch nach dem oft benutzten

Gegenſtromprinzip. Während die Ofengaſe bis auf etwa 200 Grad abgekühlt aus dem Gichtrohr abgeführt werden, wandern die feſten Beſchickungen nach unten, dabei ſelbſt immer wärmer werdend und in immer heißere Gebiete des Ofens gelangend. Dieſe ſogenannte Vorwärmezone erſtreckt ſich etwa über das obere Drittel des Ofens. Während die Erze ſie paſſieren, werden ſie bis auf etwa 400 Grad Celſius erhitzt. Alles etwa in ihnen vorhandene Waſſer wird ausgetrieben und ebenſo aus dem Koks und den Zuſchlägen.

Es folgt nun der nächſte Teil des Ofens bis etwa zum oberen Ende des Kegels b. In dieſem Teil ſteigt die Temperatur bis auf etwa 900 Grad, und die Wirkung des Kohlenoxydes auf die Eiſenſauerſtoffverbindungen beginnt. Innerhalb der Temperaturen bis zu 450 Grad wird das Eiſenoxydul Fe_2O_3 zunächſt zu Eiſenoxyduloxyd $Fe_2O_3 \cdot FeO$ oxydiert. Bei ſteigender Temperatur ſetzt aber die Reduktion ein, ſo daß ſchließlich ſämtlicher Sauerſtoff dem Eiſenoxyd entriſſen und zur Bildung von Kohlenſäure CO_2 aus dem Kohlenoxyd CO verwendet wird, während an Stelle des Eiſenerzes jetzt ein metalliſches, ſchwammförmiges, aber noch mit den erdigen Beſtandteilen der Erze vermengtes Eiſen zurückbleibt.

Während ſo eine weitgehende Reduktion des Eiſenerzes ſtattfindet, vollzieht ſich an der unteren Grenze der Reduktionszone aber noch ein anderer Vorgang. Das Kohlenoxydgas von der Form CO hat in dieſen Temperaturen und bei Gegenwart von Eiſenoxyd eine gewiſſe Neigung zur Umſetzung. Zwei Kohlenoxydmoleküle von der Form CO bilden ein Kohlenſäuremolekül von der Form

CO_2, während sich der überschüssige Kohlenstoff C in festem Zustande und äußerst fein verteilt auf dem schwammigen, weißwarmen Eisen ausscheidet. Hier aber geht eine weitere Wechselwirkung zwischen dem Eisen und dem Kohlenstoff vor sich. Die Kohle wandert in das Eisen ein. Teils bildet sie mit ihm Eisenkohlenstoffverbindungen, teils wird sie vom Eisen aufgelöst. Die dabei entstehende Eisenkohlenstofflegierung besitzt nun aber einen verhältnismäßig niedrigen Schmelzpunkt, und so schließt sich an die Reduktionszone des Hochofens unmittelbar die Schmelzzone. In einzelnen Tröpfchen rinnt das schmelzende Eisen aus den reduzierten Erzbrocken und fällt weiter nach unten. Von Wert ist dabei eine leichtflüssige Schlacke, welche die einzelnen Tröpfchen mit einer feinen Haut umhüllt und vor weiteren Einwirkungen und Wandlungen schützt.

In der Schmelzzone beginnt nun auch das Zusammenschmelzen der Gangarten von Erz und Koks sowie der Zuschläge zur Schlacke. Aber diese Schlacke enthält vorerst nicht nur diese erdartigen Bestandteile, sondern auch noch einen beträchtlichen Teil von Eisensauerstoffverbindungen der Eisenerze, die der Reduktion widerstanden haben und darüber in die Schmelzzone geraten sind. Die Hochofenschlacke ist also in diesem Teile des Ofens noch stark eisenhaltig, und es wäre ein wenig wirtschaftlicher Betrieb, wenn man sie in diesem Zustande aus dem Hochofen gehen lassen wollte. Aber das Kohlenoxydgas ist nun nicht mehr das geeignete Mittel, um dieses in der Schlacke gebundene Eisen zu reduzieren. Das vermag nur noch der Kohlenstoff selbst bei erheblich höherer Temperatur.

Diese Art der Reduktion bezeichnet man als direkte Reduktion im Gegensatz zu der indirekten durch das Kohlenoxydgas. Die direkte Reduktion geht nun im untersten Teile des Ofens, dem Gestell, vor sich, in welchem der hellweiß glühende Koks mit der flüssigen Schlacke in innigste Berührung und Vermischung gerät. Hier wird der Schlacke nicht nur der Eisengehalt bis auf geringe Reste reduziert und entzogen. Es werden auch andere Oxyde, wie Manganoxyd und Siliziumoxyd, von ihrem Sauerstoffgehalt befreit, und die betreffenden Stoffe Mangan und Silizium wandern in das flüssige Roheisen ein und bilden mit ihm Legierungen. Zum Ende des Prozesses steht über dem Bodenstein des Ofengestelles ein Bad von flüssigem Roheisen, über welchem die dreimal leichtere Schlacke schwimmt.

Die Vorgänge im Gestell können durch Beobachtungsluken von außen her verfolgt werden. Hat das Eisen- und Schlackenbad eine Höhe bis dicht unter die Windzuführungen erreicht, so wird das Roheisenbad durch die Abflußöffnung abgelassen und danach die Schlacke durch eine etwas höher liegende, auf der anderen Ofenseite befindliche Öffnung abgeblasen. Ein moderner großer Ofen liefert in 24 Stunden bis zu 500 Tonnen Roheisen, und man kann sich danach wohl vorstellen, welche Mengen hier abzulassen sind.

Bevor wir nun dem Roheisen auf seinem weiteren Wege folgen, noch ein Wort über den Ofen. Den Lauf der Beschickung von oben nach unten und das Gegenstromprinzip lernten wir bereits kennen. Von unten wird fortwährend stark komprimierte, sehr heiße Luft durch die Windzuführungen eingeblasen. Man rechnet für die Tonne

Roheisen etwa 3200 Kubikmeter Luft. Ein Ofen mit der hier angegebenen Leistung von 500 Tonnen braucht also in 24 Stunden 1,6 Millionen Kubikmeter Luft, braucht in jeder Stunde 66000 Kubikmeter. Der Stickstoff dieser Luft passiert den Ofen praktisch unverändert. Der Sauerstoff ist zu einem kleineren Teil mit Kohlenstoff zu Kohlensäure verbunden, zum größeren Teil nur zu Kohlenoxydgas. Dies letztere ist aber noch einer weiteren Oxydation oder Verbrennung fähig, wobei es erhebliche Wärmemengen entwickelt. Im Durchschnitt enthält das Gichtgas pro Kubikmeter eine nutzbare Wärmemenge von 800 Kalorien. Für eine Pferdekraftstunde in modernen Großgasmaschinen werden ungefähr 3,5 Kubikmeter Gichtgas benötigt. Ein Hochofen von der hier geschilderten Größe liefert also in seinen täglichen 1,6 Millionen Kubikmeter Gichtgas die Arbeitsmöglichkeit von 450000 Pferdekraftstunden.

Der moderne Hochofen (Fig. 93) ist demnach nicht nur eine metallurgische Anlage, sondern gleichzeitig ein Kraftgas-generator größten Stils. Auch wenn man den Energiebedarf abrechnet, der für das Vorwärmen der Gebläseluft, für den Betrieb der Gebläsepumpen und der Kühlwasserpumpen sowie schließlich für den Betrieb der Gichtaufzüge nötig ist, welch letztere die Beschickungen zur Gicht befördern, so bleibt doch immer noch ein gewaltiger Energieüberschuß, welcher den übrigen Anlagen und der weiteren Umgebung des Hüttenwerks zugute kommt. So erklären sich jene gewaltigen Elektrizitätswerke im rheinisch-westfälischen Hüttengebiet, welche elektrische Energie zum Preise von 5 Pfennig für die Kilowattstunde bis weithin nach Hannover

und ins Rheinland hinein abgeben. Die Kraftquellen dieſer Werke ſind die Koksöfen der Kohlenzechen und die Hochöfen der Eiſenhütten.

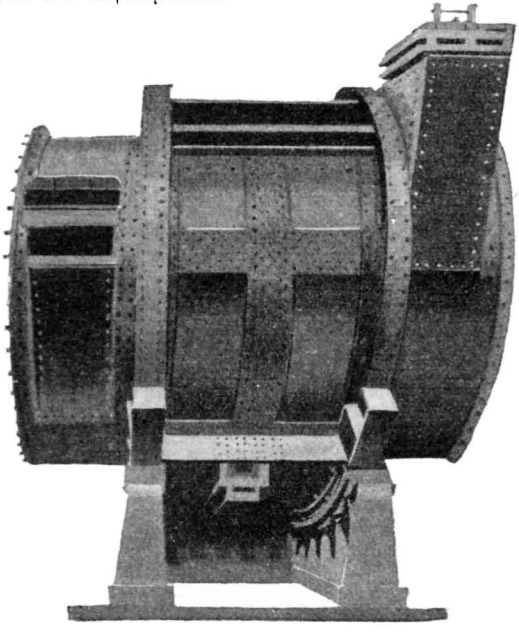


Fig. 95. Schematiſche Anſicht eines Roheiſenmiſchers.
In die Eingußtülle (rechts oben) werden mittels Kranpfanne die Abſtiche verſchiedener Hochöfen eingegoſſen und gemiſcht. Durch Kippen der ganzen Apparatur wird flüſſiges gemiſchtes Roheiſen wieder nach Bedarf in Kranpfannen ausgegoſſen. Der Roheiſenmiſcher iſt ein aus Keſſelblechen zuſammengenieteter und mit einer ſtarken feuerfeſten Schamottekleidung ausgefütterter Hohlkörper.

Das Ergebnis des Hochofens iſt das Roheiſen. Jedes Roheiſen enthält in erſter Linie Kohlenſtoff bis zu 5 Prozent des Geſamtgewichts. Je nach der Art, in welcher der Kohlenſtoff im Roheiſen vorhanden iſt, unterſcheidet man weißes

oder graues Roheisen. Das weiße Roheisen enthält den gesamten Kohlenstoff legiert. Es hat also der Kohlenstoff hier mit dem Eisen wirklich eine chemische Verbindung gebildet, die vielleicht ein Eisenkarbid von der Form CFe_2 oder C_2Fe ist, deren Molekül aber wahrscheinlich mehrere Kohlenstoff- und Eisenatome enthält. Diese Eisenkohlenstoffverbindung ist dann ihrerseits mit dem Eisen legiert, d. h. sie hat sich in dem flüssigen Eisen ebenso gelöst, wie sich etwa Zucker in Wasser löst, und befindet sich nun nach dem Erstarren des Ganzen in molekularer Verteilung im Eisen. Dieses selbst zeigt einen silberweißen Bruch. Anders liegen die Dinge beim grauen Roheisen. Hier ist die Eisenkohlenstofflegierung noch vor dem Erstarren des Eisens wieder zerlegt worden. Der Kohlenstoff befindet sich als blätterförmiger Graphit in feinst verteiltem Zustande im Eisen und verleiht ihm die graue Farbe. Diese Ausscheidung des Kohlenstoffs wird besonders durch einen gewissen Gehalt an Silizium begünstigt. Es tritt dabei das ebenfalls vierwertige Silizium an Stelle des Kohlenstoffes in die Verbindung ein und bildet Siliziumeisen, während der Kohlenstoff frei wird.

Außer dem Kohlenstoff enthält jedes Roheisen etwas Silizium und Mangan. Diese beiden Stoffe stammen teils aus den Gangarten der verhütteten Eisenerze, teils aus den während des Prozesses gegebenen Zuschlägen. Silizium und Mangan sind bis zu einem gewissen Grade nützliche und erwünschte Beimengungen des Roheisens. Dagegen sind die beiden nächsten Stoffe, Phosphor und Schwefel, als unerwünschte Verunreinigungen anzusehen, und ihr Betrag ist möglichst klein zu halten. Nur wenn das Roheisen

etwa für eine ſpätere Verarbeitung nach dem Thomasprozeß beſtimmt iſt, darf Phosphor in größerer Menge vorhanden ſein. Der Phosphor macht das Eiſen zwar einerſeits beſonders dünnflüſſig, ſo daß man mit ſolchem Eiſen ſehr feine und detailreiche Formen gut ausgießen kann. Aber andererſeits macht er es auch kaltbrüchig. Derartige Gußſtücke zerſpringen in kaltem Zuſtande oft ſchon bei einem leichten Fall wie Glas. Der Schwefel dagegen macht das Eiſen rotbrüchig. Schon bei Rotglut wird es bröckelig, und ſchwefelhaltiges Schmiedeeiſen iſt vollkommen unſchmiedbar, da es unter dem Hammer zerkrümelt.

In unſerer Gegenwart iſt ein wirtſchaftlicher Eiſenhüttenbetrieb ohne eine fortlaufende chemiſche Überwachung und eine dauernde Analyſe ſowohl der Erze wie des erſchmolzenen Roheiſens überhaupt nicht mehr denkbar. Die Zeiten, in denen man ſich hier auf das Experimentieren und Probieren verlaſſen konnte, ſind längſt vorbei. Als Beiſpiel dafür mag die nachfolgende Stelle aus den Lebenserinnerungen Andrew Carnegies, des amerikaniſchen Stahlkönigs, zitiert werden:

„Der nächſte wichtige Schritt war, einen Chemiker als Mr. Currys Berater und Helfer ausfindig zu machen. Wir fanden ihn in der Perſon des Dr. Fricke, eines gründlich vorgebildeten Deutſchen, der uns unerhörte Geheimniſſe entſchleierte. Wir erfuhren zum Beiſpiel, daß Eiſenerz aus beſtrenommierten Bergwerken 10, 15, ja ſogar 20 Prozent weniger Eiſen enthielt, als wir angenommen hatten. Man ſtellte auf einmal feſt, daß Minen, die bisher nur einen mäßigen Ruf beſaßen, hervorragend gutes Erz lieferten.

Das Gute war jetzt schlecht, das Schlechte war gut, es erschien überhaupt alles auf den Kopf gestellt. Neun Zehntel aller Unsicherheit bei der Roheisengewinnung schmolzen wie Wachs unter der warmen Sonne chemischer Kenntnisse."

Aus der Fülle der in der Hüttenliteratur vorhandenen Roheisenanalysen mögen hier nur einige wenige herausgegriffen werden. Das Roheisen-Syndikat in Düsseldorf schreibt beispielsweise vor, daß Gießereiroheisen Nr. I enthalten soll nicht unter 2,5 Prozent Silizium und nicht über 1 Prozent Mangan, 0,6 Prozent Phosphor und 0,04 Prozent Schwefel. Die Analyse für ein gutes graues Siegerländer Roheisen ergab 3—4 Prozent Kohlenstoff, 1—3 Prozent Silizium, 0,3 bis 0,5 Prozent Mangan, 0,2 Prozent Phosphor und Spuren von Schwefel.

Das Roheisen entströmt dem Zapfenloch des Hochofens in dünnflüssigem hellweißglühenden Zustande. Es enthält also eine sehr beträchtliche Wärmemenge. Sofern es nun für Gießereibetriebe bestimmt ist, irgendwo anders in einem Kupolofen als einfaches Gußeisen geschmolzen und dann vergossen werden soll, muß man diese Wärmemenge verlorengeben. Man läßt das flüssige Roheisen einfach in passende Sandformen strömen (Fig. 94) und erhält nach dem Erstarren die sogenannten Roheisenmasseln, welche nun für den Bahnversand fertig sind. Soll aber das Roheisen in der Hütte gleich auf bessere Qualitäten weiter verarbeitet werden, so läßt man sich die im flüssigen Roheisen enthaltene Schmelzwärme nicht entgehen. Vielmehr setzt sofort eine sorgfältige und bis in alle Einzelheiten durchdachte Wärmewirtschaft ein, die so weit geht, daß schließlich

in der ausgewalzten Stahlschiene noch ein Stück Hochofenwärme steckt.

In diesem Falle läßt man den Abstich des Hochofens in mächtige eiserne, mit feuerfester Schamotte ausgefütterte Kranpfannen laufen, von denen die einzelne an die zwanzig Tonnen flüssigen Eisens faßt. Diese Pfannen werden ihrerseits wieder in die sogenannten Mischer (Fig. 95) ausgekippt. Die Mischer sind sehr große, tankartige Behälter aus festem Stahl mit einer sehr starken Schamotteauskleidung. Nach den Anweisungen des Hüttenchemikers werden die Abstiche verschiedener Hochöfen in einen Mischer gegossen, um so durch die Zusammenmischung verschiedener Roheisensorten ein Gemisch zu erzielen, welches für die weiteren Prozesse besonders geeignet ist. Dabei ist der Wärmeverlust in diesen großen Mischern mit mehreren hundert Tonnen Inhalt so gering, daß man das Eisen stundenlang darin stehenlassen kann, ohne daß es seine Hitze und Flüssigkeit verliert (Fig. 96).

Die weitere Behandlung des Roheisens wird sich nun in erster Linie darauf erstrecken, ihm den allzu hohen Kohlenstoffgehalt abzunehmen. Erst bei einem Kohlenstoffgehalt von 1,6 Prozent an abwärts wird das Eisen schmiedbar und führt den Namen Stahl. Sinkt der Kohlenstoffgehalt bis auf 0,5 Prozent, so verliert der Stahl seine Härtbarkeit und wird einfaches Schmiedeeisen. Wenn man die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts noch das Zeitalter des Eisens nennen darf, so hat seitdem ganz entschieden das Zeitalter des Stahls eingesetzt. Unsere Eisenbahnen sind in Wahrheit Stahlbahnen, unsere eisernen Brücken und Träger sind

von Stahl. Nur für ganz wenige Zwecke und außerdem als Zwischenprodukt wird noch Schmiedeeisen hergestellt. Praktisch kommen für diese Entkohlung des Eisens heute nur zwei Methoden zur Verwendung. Man versteht unter der Bezeichnung Frischen in der Eisenhüttentechnik die Verbrennung oder Oxydation des im Roheisen vorhandenen Kohlenstoffs. Eine besondere Art des Frischens ist das Windfrischen. Dabei wird heißer Wind, d. h. heiße sauerstoffhaltige Luft, unter genügend starkem Druck durch ein weißglühendes Roheisenbad geblasen. Der heiße Wind oxydiert sowohl den Kohlenstoff des Eisens, als auch die anderen Beimengungen, wie Mangan, Silizium, Schwefel und Phosphor.

Die technische Durchbildung des Windfrischens ist eng mit den beiden Namen Bessemer und Thomas verbunden. Henry Bessemer begann seine Versuche in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts. Der Erfolg war verblüffend. Er vermochte eine Roheisenmenge von 3 Tonnen, zu deren Verarbeitung im Puddelofen man bisher 24 Stunden benötigte, in 20 Minuten zu verfrischen. Die ganze Eisenhüttentechnik schien über den Haufen geworfen zu sein. Aber nur allzu bald zeigte es sich, daß die Bäume nicht in den Himmel wachsen. Insbesondere der Phosphorgehalt widerstand der Verbrennung besonders hartnäckig, und man war daher genötigt, für den Bessemer-Prozeß möglichst phosphorfreies Roheisen und das heißt auch phosphorfreie Erze zu verarbeiten. Diese Beschränkung überwand Thomas, indem er die kieselsaure Ausfütterung der Bessemer-Birne durch eine basische Ausfütterung von

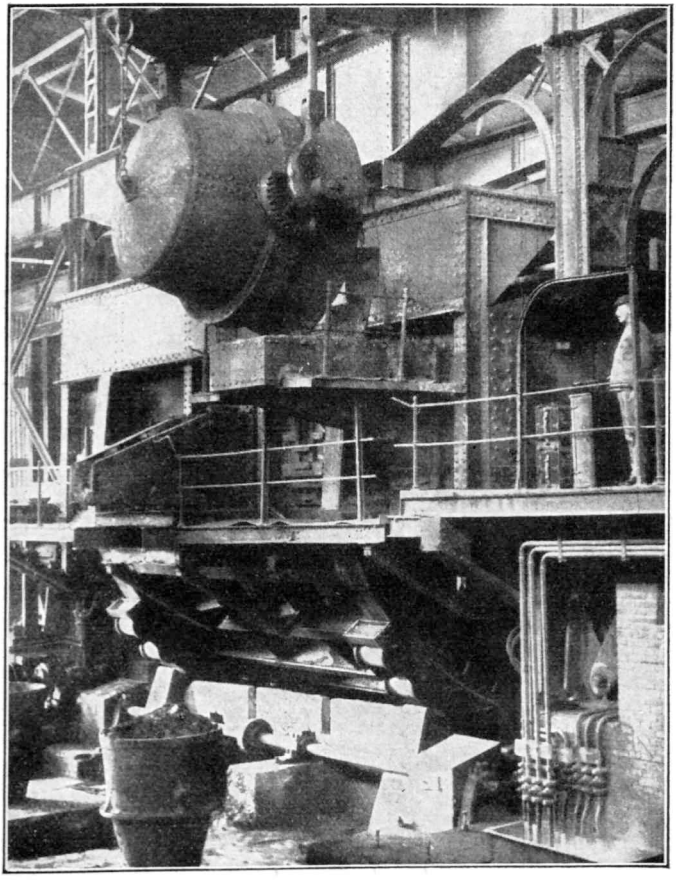


Fig. 96. Ansicht eines großen kippbaren Roheisenmischers der Gute Hoffnungshütte (Ausführung Demag, Duisburg).

Aus einer Kranpfanne wird Roheisen in die Tülle des Mischers gegossen.

Dolomitgestein, einem Gemenge von Kalzium- und Magnesiumkarbonat, ersetzte und dem in die Birne gefüllten Roheisen einen Zuschlag von Kalk gab. Nun konnte der Phosphor ebenfalls wegbrennen und als phosphorsaurer Kalk in die Schlacke gehen.

Der Stahl oder das Schmiedeeisen, welche die Enderzeugnisse der Bessemer- oder Thomas-Birne bilden, besitzen einen um rund 400 Grad höheren Schmelzpunkt als das Roheisen. Es wäre daher kaum denkbar, daß das in der Birne erblasene Produkt flüssig bleibt, wenn nicht durch die Verbrennung der genannten Beimengungen des Roheisens selbst gewaltige Wärmemengen frei würden. In der Bessemer-Birne verbrennt zuerst das Silizium. Das Ergebnis dieser Verbrennung ist die Kieselsäure, ein festes, bzw. bei dieser Hitze flüssiges Produkt, welches als Schlacke über dem Eisen schwimmt. Ist der Luftstrom angestellt und die Birne aufgekippt, so vernimmt man zunächst nur ein gurgelndes Rauschen. Es tritt fast nur reiner Stickstoff aus dem Eisenbad heraus, während aller Sauerstoff in der Kieselsäure gebunden wird. Aber nach etwa zwei Minuten ist alles Silizium verbrannt. Es beginnt die Oxydation des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd, das sich in dem verhältnismäßig kleinen Eisenvolumen in gewaltigen Mengen entwickelt, donnernd herausbricht und an der Luft mit hellweißer Flamme zu Kohlensäure verbrennt (Fig. 97). Nach etwa zehn Minuten ist auch der Kohlenstoff ausgeschieden. Die Flamme über dem Birnenmund erlischt, und der Prozeß ist beendigt. In der Birne ist jetzt kohlenfreies Eisen.

Will man unmittelbar Beſſemer-Stahl erzeugen, ſo muß man den Prozeß vor dem vollſtändigen Verbrennen des Kohlenſtoffs abbrechen. Man richtet ſich hier einerſeits nach dem Ausſehen der Flammen auf der Eiſenoberfläche. Vielfach wird aber auch das Spektroſkop benutzt. Es zeigt unter anderem die Linien der glühenden Mangandämpfe und gibt einen ziemlich genauen Anhalt für das Abbrechen des Prozeſſes. Während des Blaſens iſt nun auch eine gewiſſe Menge Eiſen mitoxydiert. Das wäre nicht ſchlimm, wenn dies Oxyd auch in die Schlacke ginge. Aber es löſt ſich im Eiſen auf und macht dies in hohem Grade rotbrüchig. Deshalb gibt man nun nach der Abſtellung des Windes noch eine beſtimmte Menge Manganeiſens zu. Bei der herrſchenden Temperatur iſt die chemiſche Verwandtſchaft des Mangans zum Sauerſtoff viel größer als die des Eiſens. Es reduziert alſo alles im Bade gelöſte Eiſenoxydul wieder zu Eiſen, und das Manganoxydul geht in die Schlacke. Die Schlacke in der Beſſemer-Birne enthält alſo in der Hauptſache Kieſelſäure, Manganoxydul, Eiſenoxydul und außerdem von dem feuerfeſten Futter herrührend etwas Tonerde, Kalkerde und Magneſia.

Das Thomas-Verfahren, im Gegenſatz zum ſauren Beſſemer-Verfahren auch als baſiſches Verfahren bezeichnet, wurde beſonders in Deutſchland weiter entwickelt und geſtattet hier die Verarbeitung phosphorreicher Roheiſenſorten. Während die Schlacke des Beſſemer-Verfahrens faſt wertlos iſt, nur gelegentlich wegen ihres Mangangehalts den Hochofenzuſchlägen zugeſetzt wird, iſt die Thomasſchlacke wegen ihres hohen Gehalts an Phosphorſäure

ein äußerſt wertvolles Düngemittel. Sie beſteht in der Hauptſache aus Kalk und bis zu 25 Prozent aus Phosphorſäure. Die Analyſe einer ſolchen Schlacke ergab 7,07 Prozent Kieſelſäure, 22,5 Prozent Phosphorſäure, 0,89 Prozent Tonerde, 5,27 Prozent Eiſenoxyd, 6,49 Prozent Eiſenoxydul, 7,81 Prozent Manganoxydul, 47,36 Prozent Kalk und 1,67 Prozent Magneſia.

Das zweite Verfahren zur Weiterverarbeitung des Roheiſens auf Stahl iſt als das Siemens-Martin-Verfahren bekannt. Dabei waren die Franzoſen Emile und Pierre Martin die Erfinder des chemiſchen und hüttentechniſchen Teils, Friedrich Siemens, der bekannte Heizungstechniker, der Erfinder des wärmetechniſchen Teils, der zuſammen mit ſeinem Bruder Wilhelm Siemens das Prinzip der Regenerativfeuerung erfolgreich auf den Martinofen anwandte.

Wir ſahen, daß das Roheiſen des Hochofens mit rund 5 Prozent Kohlenſtoff einen für Stahl zu hohen Kohlenſtoffgehalt beſitzt, während wir in der Beſſemer- bzw. Thomas-Birne ohne großen Aufwand ein faſt kohlenſtofffreies Eiſen erblaſen können. Gießt man nun Roheiſen und Birneneiſen in geeigneten Mengen zuſammen, ſo muß man durch dieſe Mengung Eiſen mit jedem gewünſchten Kohlenſtoffgehalt erzielen können. Das iſt der ſehr einfache Grundgedanke des Siemens-Martin-Verfahrens. Bei der wirklichen Ausführung darf man ſich freilich nicht auf das einfache Zuſammengießen beſchränken. Wir wiſſen ja, daß das Roheiſen noch mancherlei Beimengungen, wie Phosphor, Silizium und Schwefel, beſitzt, die im fertigen Stahl nicht mehr erwünſcht ſind. Dieſe Teile müſſen durch Oxydation

entfernt werden. Man hat es nun im Siemens-Martin-Ofen in der Hand, mit verschiedenen Mitteln und von verschiedenen Seiten her auf das flüssige Eisenbad zu wirken.

Erstens kann man die Flamme, welche das Bad bestreicht, nach Bedarf mit Sauerstoffüberschuß oder -unterschuß brennen lassen, kann sie also nach Bedarf oxydierend oder reduzierend wirken lassen. Zweitens kann man die Ausmauerung des Herdes auch hier „sauer" oder „basisch" herstellen. Gegenwärtig wird fast nur mit basischen Herden gearbeitet, während für die übrige Ofenausmauerung das billigere saure Mauerwerk genommen wird. Drittens endlich kann man durch Einbringen von Eisensauerstofferzen, Kalk und dergleichen unmittelbar auf das Innere das Bades wirken, kann über ihm eine saure oder basische Schlacke erzeugen und dem Bade viel weitergehend alle unerwünschten Beimengungen entziehen, als dies beim Windfrischen üblich ist. So kann man wohl sagen, daß sich im Siemens-Martin-Ofen ein rechter Edelstahl kochen läßt. Ein Blick in einen solchen Ofen gewährt einen wunderbaren Anblick (Fig. 98). Man blickt auf die weite weißglühende Fläche des flüssigen Stahls und sieht, wie die Gase aus ihm herausbrodeln und hier und dort kleine Stahlfontänen emporwerfen. Die Analysen für den Siemens-Martin-Stahl ergeben ähnliche Werte wie für den windgefrischten Stahl. Siemens-Martin-Schienen hatten beispielsweise 0,36 Prozent Kohlenstoff, 0,16 Prozent Silizium, 0,98 Prozent Mangan, 0,04 Prozent Phosphor und 0,05 Prozent Schwefel.

Der Stahl, welcher der Frischbirne oder dem Siemens-Martin-Ofen entnommen wird, ist reif für die weitere Ver-

arbeitung. Er wird in Gießpfannen eingelaſſen und in hohe Formen mit quadratiſchem, nach oben verjüngtem Querſchnitt eingegoſſen. Nach einer genau bekannten Zeit zieht ein Zangenkran die Form ab, ein zweiter Kran faßt das noch hellrot glühende Gußſtück, die Bramme oder Luppe, und mit Windeseile geht es zum Walzwerk, wo die ſtählernen Maſſenprodukte, die Schienen, Träger, Profileiſen und Bleche, entſtehen.

Es war ein langer und dornenvoller Weg vom Rennfeuer oder vom Friſchfeuer der Urmenſchen bis zum modernen Eiſenhüttenwerk. Heute iſt die Stahlerzeugung eine ausgeſprochene Maſſenerzeugung. Auf der Erde werden heute alljährlich etwa 200 Millionen Tonnen Stahl und Eiſen gewonnen und reſtlos verbraucht.

Nächſt dem Eiſen iſt das Kupfer für unſer Zeitalter der Elektrotechnik das wichtigſte Metall. Während uns das Eiſen von der Natur aber in Form ziemlich reiner Sauerſtofferze geliefert wird, liegen die Dinge beim Kupfer nicht ſo einfach. Solche Sauerſtoffkupfererze kommen ziemlich ſelten vor. Dagegen finden ſich bemerkenswerterweiſe ziemlich umfangreiche Gänge und Neſter von gediegenem Kupfer in der Natur. So hat man beiſpielsweiſe am Oberen See in den Vereinigten Staaten gediegene Kupferblöcke in Einzelgewichten bis zu 3000 Kilogramm gefunden. Auch auf der Inſel Zypern, von der das Kupfer (lateiniſch cuprum) ſeinen Namen hat, ſoll es im Altertum in beträchtlichen Mengen gediegen vorgekommen ſein. Es iſt auffallend und ſchwer erklärlich, daß ſich in dieſem natürlichen kriſtalliniſchen Kupfer auch andere Metalle, wie z. B. Silber,

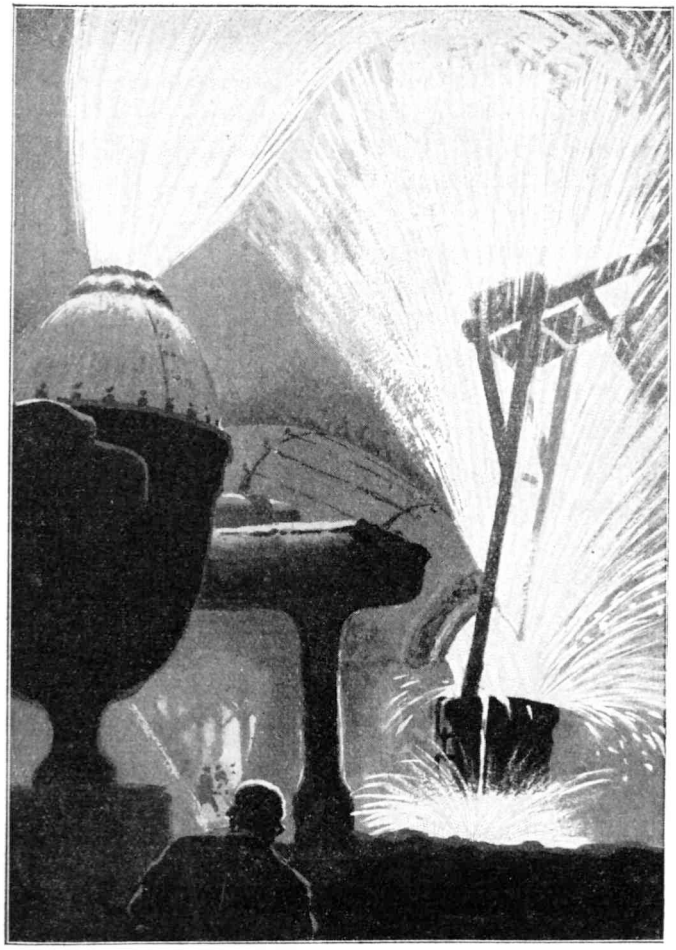


Fig. 97. Beſſemer- oder Thomas-Birnen in Betrieb.

Die „Birne" links vorn im zweiten Stadium des Blaſens. Der Kohlenſtoff des Roheiſens verbrennt zu Kohlenoxyd, bricht aus dem weißglühenden Eiſenbad heraus und verbrennt zu Kohlenſäure. Rechts: Eine fertige Birne kippt den Stahl in die Pfanne.

gediegen vorfinden, die nicht mit ihm legiert sind, wie es unbedingt der Fall sein müßte, wenn diese Metalle aus einer flüssigen Schmelze erstarrt wären. Sonderbarerweise finden sich nun aber auch antike Kupfergefäße, welche ebenfalls derartig punktförmiges Silber eingesprengt enthalten, und einige Forscher vertreten die Meinung, daß die Alten noch gar nicht imstande waren, Kupfererze zu verhütten. Sie nehmen an, daß diese das natürlich vorkommende gediegene Kupfer höchstens schmolzen und mit Zinn zu Bronze legierten, daß sie aber ihre Kupfergeräte unmittelbar aus dem Naturkupfer schmiedeten und trieben.

Die verbreitetsten Kupfererze sind das Rotkupfererz von der Form Cu_2O, die kohlensauren Kupfererze Malachit und Kupferlasur, und ganz besonders der Kupferkies, eine Verbindung von Schwefeleisen und Schwefelkupfer von der Form $CuFeS_2$. Während die Kupfergewinnung aus den erstgenannten Erzen verhältnismäßig einfach ist, bietet die Verhüttung des Kupferkieses beträchtliche Schwierigkeiten.

Der Prozeß beginnt mit einer Trennung des Kupfererzes von seinem Ganggestein nach der sogenannten Flotationsmethode. Die Erze werden fein gemahlen und mit Wasser und ein wenig Holzteeröl angerührt. Es bildet sich auf der Flüssigkeit eine Schaumschicht, welche alles Erz enthält, während die Gangart zu Boden sinkt. Aus dem Schaum gewinnt man durch Abpressen ein konzentriertes Erz, welches nun zunächst geröstet, d. h. bis zur Rotglut erhitzt wird. Durch diesen Prozeß wird ein erheblicher Teil des Schwefels in Form von schwefliger Säure OS als Gas ausgetrieben, während andererseits Luftsauerstoff in das

Erz einwandert und Kupferoxyd von der Form CuO bildet. Das durch diese Röstung gewonnene Produkt wird unter Beigabe von kieselsäurehaltigen Zuschlägen und Kohle verschmolzen. Dabei bindet sich das Eisen mit dem Silizium der Kieselsäure zu Eisensilikat und geht in die Schlacke. Die beigegebene Kohle wirkt ihrerseits reduzierend auf das Kupferoxyd, während die Glühhitze weiter Schwefel austreibt. So kommt man durch einen mehrfach wiederholten Prozeß von abwechselndem Rösten und Glühen schließlich zum metallischen Kupfer, dem sogenannten Garkupfer. In neuerer Zeit hat man auch die Bessemer-Birne in etwas gewandelter Gestalt in den Dienst der Kupfergewinnung gestellt und reinigt das flüssige Kupferbad durch einen hindurchgeblasenen Luftstrom.

Wir sahen bei der Eisengewinnung, daß das fertige Erzeugnis auch des Siemens-Martin-Ofens noch keineswegs ein chemisch reines Eisen ist, sondern prozentuale Beimengungen anderer Stoffe enthält. Freilich sind diese Beimengungen für den Stahl zum Teil unbedingt notwendig und unentbehrlich. Anders liegen die Dinge beim Kupfer. Es wird ja zum größten Teil in der Elektrotechnik verwandt, wo es in erster Linie auf die hohe Leitfähigkeit für elektrische Ströme ankommt. Die Leitfähigkeit des Kupfers wird aber durch geringfügige Beimengungen von Bruchteilen eines Prozents schon sehr bedeutend verschlechtert. Man braucht in der Elektrotechnik ein Kupfer von einer Reinheit, wie man es nach irgendeinem Hüttenverfahren niemals herstellen kann. Bringen doch die Flamme und das Ofenfutter in jedes noch so reine Metall Zusätze

hinein, ganz abgesehen von denjenigen Stoffen, die bei der hier beschriebenen schwierigen Verhüttung ohnehin unentfernbar sind.

In dieser Verlegenheit hat sich die Elektrolyse als Helferin erwiesen. Sobald das Kupfer als Garkupfer vorliegt, verzichtet man auf alle weiteren hüttenmännischen Raffinierungsversuche. Das Garkupfer wird in Form großer, ziemlich starker Bleche oder Platten ausgegossen, und diese kommen in ein Kupfervitriolbad, in dem sie als Anoden dienen, während ihnen feine Reinkupferbleche als Kathoden gegenüberstehen. Unter der Einwirkung eines genügend starken elektrischen Stromes löst sich das Garkupfer der Anoden zu Kupfervitriol, während die entsprechende Kupfermenge an der Kathode als Elektrolytkupfer niedergeschlagen wird. Dabei fallen alle Verunreinigungen des Garkupfers als sogenannter Anodenschlamm zu Boden, und an den Kathoden schlägt sich ein Metall nieder, welches zu wenigstens 99,9 Prozent aus reinem Kupfer besteht, höchstens noch 1 pro Mille Verunreinigungen enthält. Wir werden auf das Verfahren noch in dem Abschnitt von der Elektrochemie zurückkommen.

Bei der Schwierigkeit und Umständlichkeit der Verhüttung des Kupferkieses sind gegenwärtig Bestrebungen im Gange, das elektrolytische Verfahren so früh wie möglich einzusetzen. Stellenweise elektrolysiert man bereits den sogenannten Kupferstein, jenes nach dem ersten Rösten des Kupferkieses gewonnene Gemisch von Schwefelkupfer und Schwefeleisen. Wenn auch die Erfahrungen über diesen Prozeß noch nicht abgeschlossen sind, so bleibt doch das Bestreben bemerkenswert, die chemischen Reaktionen

der Flamme und der Zuſchläge, welche bisher in allen Hüttenprozeſſen die Hauptrolle ſpielen, in weitgehendem Maße durch elektrolytiſche Vorgänge zu erſetzen. Beſtimmend dafür iſt die Beobachtung, daß die Elektrolyſe bei geeigneten Bädern, Spannungen und Stromdichten

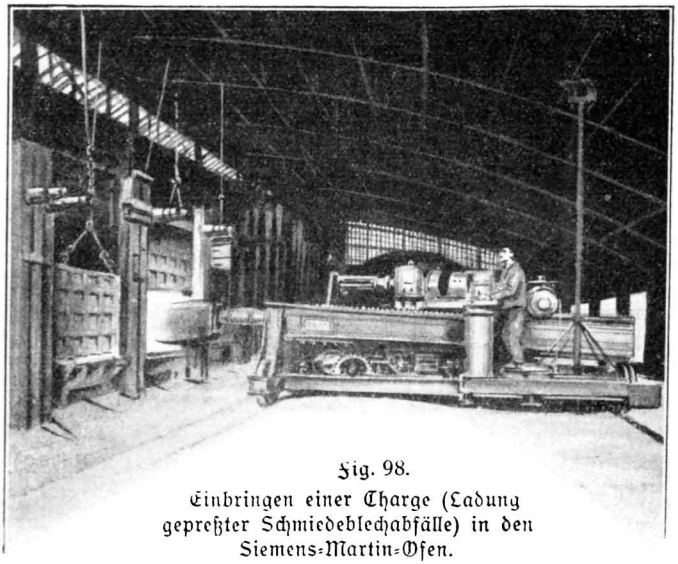


Fig. 98.
Einbringen einer Charge (Ladung gepreßter Schmiedeblechabfälle) in den Siemens-Martin-Ofen.
Die Chargiermaſchine ſchiebt einen großen „Löffel" voller Blechabfälle durch die geöffnete Tür in den Ofen.

auch bei Verwendung ſehr ſtark verunreinigter Anoden ein Produkt von erſtaunlicher Reinheit liefert.

Während des Weltkrieges ſtieg die Kupfernot in Deutſchland von Monat zu Monat, da für die Granatringe, die ſich zäh und weich in die Züge der Geſchützrohre einpreſſen müſſen, reines Kupfer das einzige als brauchbar

bekannte Material war. In der Not der Zeit wandte man nun auch auf das im hüttenmännischen Verfahren gewonnene Eisen die Elektrolyse an und gewann ein ebenfalls beinahe chemisch reines Eisen mit überraschenden Eigenschaften. Das Siemenssche Elektrolyteisen besaß eine Geschmeidigkeit, Zähigkeit und Weichheit, welche derjenigen des Elektrolytkupfers kaum nachstand und seine Verwendung zu Granatringen, Patronenhülsen und dergleichen ohne weiteres gestattete. Nur mußte die weitere Verarbeitung dieses Eisens frei von jeder Flammenbehandlung erfolgen, da schon die geringsten Verunreinigungen seine wertvollen Eigenschaften wieder vernichteten.

An dritter Stelle mag das Zinn genannt werden. Die Natur bietet es uns vornehmlich als ein Sauerstofferz dar, den Zinnstein von der Form SnO_2. Aber leider sind die Erze sehr häufig durch Beimengungen von Schwefel und Arsen verunreinigt. Es gibt auch reine Zinnoxyd-Vorkommen. Dann sitzt der schwere schwarze Zinnstein nesterförmig im Gestein und wird herausgehauen (Fig. 99). Die Erze müssen daher vor der Verhüttung durch scharfes Rösten vom Schwefel und dem größten Teil des Arsens befreit werden. Danach erfolgt die Verhüttung, die nun in der Hauptsache eine Reduktion ist, wobei sich der Sauerstoff des Zinnoxyds mit der als Zuschlag gegebenen Kohle zu Kohlensäure verbindet, während reines Zinn erschmolzen wird.

Im Altertum bildete Zinn in Verbindung mit Kupfer die wertvolle Bronze. In unseren Tagen ist die Bronze als Gebrauchsmetall zum größten Teil durch das Eisen ersetzt worden. Legieren wir heute das Kupfer, so nehmen wir

meist Zink hinzu und erhalten so das Messing, welches in der Technik weitgehende Anwendung findet. Das reine Zinn wird, fein ausgewalzt, als Zinnfolie oder Stanniol besonders zum Verpacken von allerlei Waren benutzt, die gegen die Luftfeuchtigkeit geschützt werden müssen. Weiterhin hat die vorzügliche Gießbarkeit des Zinns aber auch das Kunstgewerbe angeregt, und seit dem frühen Mittelalter hat die Zinngießerei wertvolle Stücke in großer Zahl erzeugt. Stücke, die aber alle von einem unheimlichen Feind bedroht zu sein scheinen.

Das Zinn gehört nämlich zu jenen Stoffen, die wie Phosphor, Schwefel und Kohlenstoff in verschiedenen Modifikationen vorkommen. Während das gewöhnliche Zinn ein silberweißes Metall vom spezifischen Gewicht 7,3 ist, gibt es auch eine graue Modifikation, welche pulvrig ist und das spezifische Gewicht 5,8 besitzt. Bei tiefen Temperaturen geht nun das weiße Zinn in die graue Modifikation über. Dieser Übergang erfolgt ganz unkontrollierbar zunächst an wenigen, winzig kleinen Stellen. Es scheint sogar, als ob dazu noch eine chemische Einwirkung gehört, bei der Verbindungen des Zinns mit Chlor und Ammoniumchlorid eine Rolle spielen. Betupft man beispielsweise weißes Zinn bei tiefen Temperaturen mit einer solchen Verbindung, dem sogenannten Pinksalz von der Form $SnCl_4 \cdot 2NH_4Cl$, so verwandelt es sich unmittelbar in graues Zinn. Wenn nun aber auch nur einige wenige Moleküle eines Zinngußstückes in die graue Modifikation verwandelt sind, so geht dieser Prozeß unaufhaltsam weiter, solange die Temperatur weniger als 15 Grad Celsius

beträgt. Das Stück wird über immer größere Stellen hin ſtumpf grau, erinnert an wurmzerfreſſenes Holz und bröckelt ſchließlich auseinander.

Das iſt die gefürchtete Zinnpeſt. Sie hat in Sammlungen und Muſeen an wertvollen alten Stücken böſe Verheerungen angerichtet, bevor es gelang, ihr Weſen zu ergründen und Mittel zur Abwehr zu finden. Als ſie zuerſt ſo merklich und fühlbar auftrat, ſchien es, als wäre jene mittelalterliche Alchimiſtenſage vom Eiſenwurm, der Eiſen zerfrißt wie der Holzwurm das Holz, für das Zinn Wahrheit geworden. Heute weiß man, daß es ſich hier um die Umwandlung einer Zinnmodifikation in die andere handelt, wahrſcheinlich begünſtigt durch unſere im Steinkohlenzeitalter mit allerlei Chlor- und Ammoniakdämpfen verunreinigte Luft. Denn ſonſt hätte man die Zinnpeſt ſchon in früheren Jahrhunderten bemerken müſſen. Das Heilmittel gegen dieſe Krankheit iſt Wärme. Bei einer Temperatur von mehr als 15 Grad Celſius tritt die Umwandlung nicht mehr ein, bei einer Temperatur von mehr als 20 Grad geht die bereits eingetretene Umwandlung ſogar wieder zurück. Nur leider wird die Schönheit des Kunſtwerks dadurch nicht rekonſtruiert, denn das ſich zurückbildende weiße Zinn hat die aufgeplüſterte Struktur des grauen Zinnes, ſo daß die Form des Gußſtückes geſtört bleibt.

Das Blei ſei als viertes Metall genannt. Es kommt in der Natur vornehmlich als Bleiglanz oder Schwefelblei von der Form PbS vor. Auch hier bildet die Röſtung die erſte Stufe der Verhüttung. Sie treibt einen Teil des

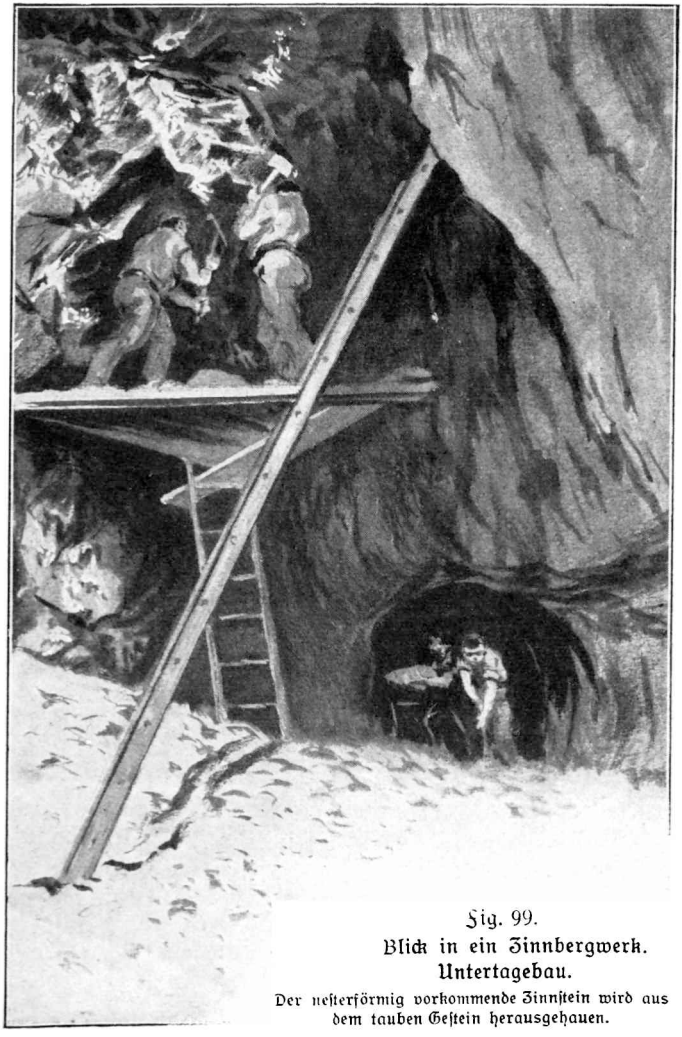


Fig. 99.
Blick in ein Zinnbergwerk.
Untertagebau.
Der neſterförmig vorkommende Zinnſtein wird aus dem tauben Geſtein herausgehauen.

Schwefels als schweflige Säure aus. Dafür wandert Sauerstoff ein und bildet Bleioxyd PbO. Zum anderen Teile wandert Sauerstoff in das Schwefelblei und bildet Bleisulfat von der Form $PbSO_4$. Durch Beigabe von Kieselsäure wird das Bleisulfat in Bleisilikat verwandelt, und danach erfolgt die reduzierende Schmelzung im Schachtofen unter Beigabe von Koks, wobei einerseits Kohlensäure entweicht, andererseits Blei erschmolzen wird.

Als fünftes Metall, welches in unserer gegenwärtigen Kultur eine unentbehrliche Rolle spielt, sei das Zink genannt. Die Natur bietet es uns vornehmlich als kohlensaures Sauerstofferz von der Form $ZnCO_3$. Das ist der Zinkspat oder Edelgalmei. Außerdem wird auch das Schwefelerz ZnS, die Zinkblende, verhüttet. Bei dieser muß der Verhüttung wieder das Rösten vorausgehen, durch welches der Schwefel ausgetrieben und Zinkoxyd gebildet wird. Es folgt das Schmelzen im Ofen, wobei das Zinkoxyd mit Kohle gemischt und niedergeschmolzen wird. Nun liegt aber der Verdampfungspunkt des dabei entstehenden reinmetallischen Zinkes mit 920 Grad so niedrig, daß es ebenfalls als Dampf abgeht. Die Dämpfe des Ofens müssen daher in einer Kühlvorlage aufgefangen werden. Hier scheidet sich das Zink als feiner Staub aus und kann nun in einem anderen Ofen bei geringerer Temperatur zu den handelsüblichen Blöcken verschmolzen werden.

Die fünf Metalle: Eisen, Kupfer, Blei, Zinn und Zink geben unserer heutigen Kultur das Gepräge. Es sind ausgesprochene Schwermetalle im Gegensatz zu den Leichtmetallen, von denen besonders das Aluminium erwähnt

ſein mag. Faſt ſcheint es aber, als ob wir heute bereits in einer Übergangszeit ſtehen und ein neues Zeitalter der Leichtmetalle in der Geſchichte menſchlicher Kultur beginnen will. Schon ſpielt die Legierung des Aluminiums mit Magneſium, das Duralumin im Luftſchiff- und Automobilbau eine bedeutſame Rolle. Vielleicht folgt auf die Eiſenzeit die Aluminiumzeit, wie früher einmal das Eiſen die Bronze ablöſte.

Elektrochemie

Wir beginnen unſere Betrachtungen mit einem einfachen Verſuch. In ein Glas reinen Waſſers ſchütten wir einen Löffel Kochſalz. Vom Kochſalz wiſſen wir, daß es eine Verbindung von Chlor und Natrium iſt. Jedes Kochſalzmolekül beſteht aus einem Natrium- und einem Chloratom, die chemiſch feſt miteinander verbunden ſind.

Wir beobachten nun das Salz im Waſſer und bemerken, daß das weiße Häufchen immer kleiner wird. Salzkorn auf Salzkorn verſchwindet ſcheinbar, und wir ſagen: Das Salz hat ſich im Waſſer gelöſt. An Stelle des reinen Waſſers haben wir jetzt eine Salzlöſung. Durch verſchiedene Proben können wir feſtſtellen, daß das Salz ſich tatſächlich vollkommen gleichmäßig in dem Waſſer verteilt hat. Jedes Tröpfchen der Flüſſigkeit zeigt einen ſalzigen Geſchmack. Eine winzige Flüſſigkeitsmenge der Löſung, an einer beliebigen Stelle entnommen und auf einer Nadelſpitze in die Flamme des Bunſenbrenners gebracht, erregt dort die bekannte gelbe Natriumfärbung und liefert dadurch den Beweis, daß wirklich Chlornatriummoleküle in der Flüſſigkeit vorhanden waren.

Wir müſſen daher annehmen, daß die in das Waſſer gebrachte Kochſalzmenge tatſächlich eine molekulare Verteilung erfahren hat, daß die Kochſalzmoleküle ſich in dem Waſſer ähnlich ausgebreitet haben, wie ſich etwa die Moleküle eines Gaſes nach allen Seiten hin ausbreiten, ſobald man es aus den einengenden Wänden ſeines Behälters

entläßt. Mit gutem Grunde hat man deshalb auch dieſe Löſungsvorgänge mit den Ausbreitungsvorgängen eines ſich ſelbſt überlaſſenen Gaſes verglichen. Wie man dort von einem Gasdruck ſpricht, ſo redet man hier von einem Löſungsdruck. Dieſer Vergleich hat ſich als ſehr fruchtbringend erwieſen. Konnte doch der Chemiker van't Hoff nachweiſen, daß dieſer Druck genau ſo wie der Druck eines Gaſes den Geſetzen von Boyle und Gay-Luſſac gehorcht. Van't Hoff konnte weiter zeigen, daß dieſer osmotiſche oder Löſungsdruck auch der Größe nach vollkommen mit dem Gasdruck übereinſtimmt.

Die Vorbedingung für alle dieſe Verſuche war eine Membrane, welche zwar den Molekülen des Löſungsmittels, in unſerem Falle alſo den Waſſermolekülen, den freien Durchgang geſtattete, ihn dagegen den Molekülen des gelöſten Stoffes verſperrte. Van't Hoff ſchaffte ſich ſolche halb durchläſſige Wände, indem er hart gebrannte poröſe Tonzellen erſt in eine Löſung von gelbem Blutlaugenſalz und danach in eine Kupfervitriollöſung eintauchte. Dabei bildete ſich auf dem Ton eine feine Schicht von Ferrozyankupfer, welche die gewünſchten Eigenſchaften beſaß. Eine derartig präparierte Tonzelle wurde nun mit irgendeiner Löſung gefüllt und mit einem undurchläſſigen Pfropfen verſchloſſen, durch den ein langes Glasrohr in die Löſung hineinragte. Setzte man dann dieſe Zelle in ein Gefäß mit dem Löſungsmittel, in unſerem Falle alſo in Waſſer, ſo begann der osmotiſche Druck ſeine Wirkung zu äußern. Die Salzmoleküle wollten mit dieſem Druck nach außen wandern, wurden aber durch die Kupferſchicht daran gehindert. Mit

dem gleichen Druck ſtrebten die umgebenden Waſſermoleküle in die Zelle hinein, und dieſe ließ die Kupferſchicht frei paſſieren. Es kam alſo nichts aus der Zelle heraus, aber Waſſer hinein, und die Flüſſigkeit mußte deshalb in dem

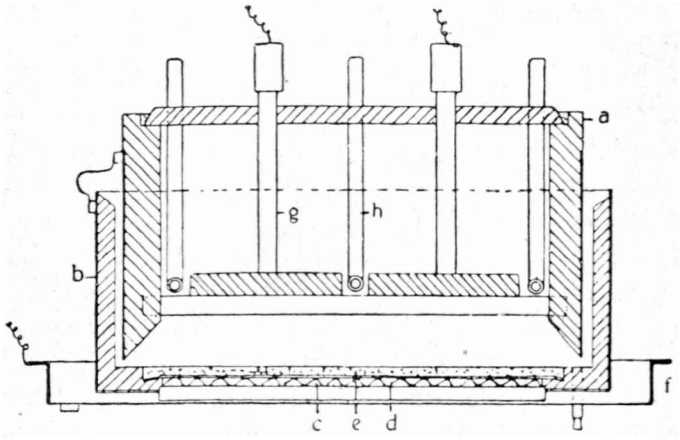


Fig. 100. Schnitt durch einen Billiter-Apparat zur Elektrolyſe von Kochſalzlöſung in Ätznatron und Chlor.

Das urſprüngliche Billiter-Verfahren iſt ein Glockenverfahren. Die Glocke (a), die den Anodenraum bildet, ſteht in einem Beton- oder Steinzeugkaſten (b), deſſen Boden von einem Eiſendrahtnetz (c) gebildet wird. Auf dem Boden liegt ein Aſbeſttuch (d), das wieder als Träger für das Diaphragma (e) dient. Das Eiſendrahtnetz ſteht einige Zentimeter über dem Boden eines Kaſtens (f), der an den negativen Pol der Stromquelle angeſchloſſen wird, während der poſitive Pol mit den Anoden (g), die im Deckel befeſtigt ſind, verbunden wird; h iſt ein Heizrohr, das horizontal zwiſchen je zwei Elektroden liegt.

Glasrohr in die Höhe ſteigen. Aus der Höhe der Flüſſigkeitsſäule konnte man unmittelbar den osmotiſchen Druck ableſen. Mit dieſer Apparatur vermochte van't Hoff nun die osmotiſchen Drucke der mannigfachſten Löſungen feſtzuſtellen. Das Ergebnis ſeiner Unterſuchungen faßte er in

einem Gesetz zusammen, welches sich dem Avogadroschen Gesetz an die Seite stellt.

Das Avogadrosche Gesetz besagt ja, daß in gleich großen Volumen verschiedener Gase, sofern sie nur bei gleicher Temperatur den gleichen Druck zeigen, stets die gleiche Anzahl von Gasmolekülen vorhanden ist. Das entsprechende

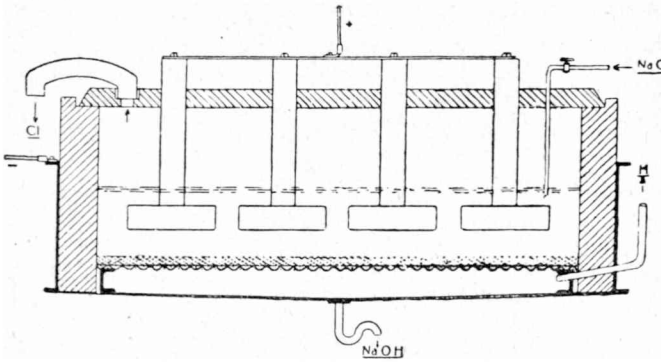


Fig. 101. Das moderne Siemens-Billiter-Verfahren zur Zerlegung von Chlornatriumlösung in Chlor und Ätznatron.

Das Siemens-Billiter-Bad ist ein flacher Kasten aus Beton oder Steinzeug, der von einem Beton- oder Steinzeugdeckel, in dem die Anoden befestigt sind, abgeschlossen wird. Im Deckel befinden sich noch ein Steinzeugkrümmer (links), der zum Abzug des Chlorgases dient, ein Glas- oder Tonrohr, durch das die frische Salzlösung zugeführt wird (Mitte, unten). Einige Zentimeter über dem Boden ist ein Eisendrahtnetz wagerecht gelagert, das als Träger für ein Asbesttuch und gleichzeitig als Kathode dient. Auf das Asbesttuch wird als Diaphragma eine Paste von Bariumsulfat und Asbest in dünner Schicht aufgeschlämmt. Dicht unterhalb des Eisendrahtnetzes liegen wagerecht Eisenrohre, die den Abzug des freien Wasserstoffes gestatten.

Gesetz für die Lösungen besagt, daß in gleich großen Volumen der Lösungen verschiedener Stoffe stets die gleiche Anzahl von Molekülen dieser Stoffe vorhanden ist, falls die Lösungen bei gleichen Temperaturen die gleichen osmotischen Drucke zeigen. Durch dies van't Hoffsche Gesetz hatte man ein neues wertvolles Mittel zur Bestim-

mung der Molekulargewichte bekommen. Aber im weiteren Verlauf der Dinge zeigten sich bedauerliche Unstimmigkeiten. Namentlich bei schwachen Lösungen, bei denen also nur geringe Mengen des betreffenden Stoffes im Lösungsmittel vorhanden waren, zeigten sich osmotische Drucke von einer zunächst unerklärlichen Größe. Hatte das van't Hoffsche Gesetz seine Richtigkeit, dann mußten sich hier im Volumen des Lösungsmittels bedeutend mehr gelöste Moleküle vorfinden, als man nachweislich hineingetan hatte. Die Erklärung dieser Vorgänge gab der Chemiker Arrhenius in seiner Dissoziationstheorie. Damit aber wurde der Lösungsvorgang aus einem physikalischen zu einem chemischen Prozeß.

Bis dahin hatte man die Lösung im Gegensatz zur chemischen Verbindung durchaus als einen rein physikalischen Vorgang angesehen. Konnte man doch durch einfache physikalische Mittel den gelösten Stoff vollkommen unverändert zurückerhalten. Brachte man beispielsweise die eingangs erwähnte Kochsalzlösung über ein Feuer, so verdampfte das Wasser, und man erhielt das in die Lösung gegebene Kochsalz als Rückstand. Es war eben eine molekulare Auflösung, aber das einfache Molekül blieb dabei unverändert. Nach der Erklärung von Arrhenius wurde dies anders. Nach seiner Auffassung fand namentlich bei schwachen Lösungen auch eine teilweise Dissoziation oder Spaltung der Moleküle des gelösten Stoffes statt. Bei der Kochsalzlösung mußten sich also einzelne Salzmoleküle in Natriumteilchen und Chlorteilchen trennen, die unabhängig voneinander im Lösungsmittel umherschwammen.

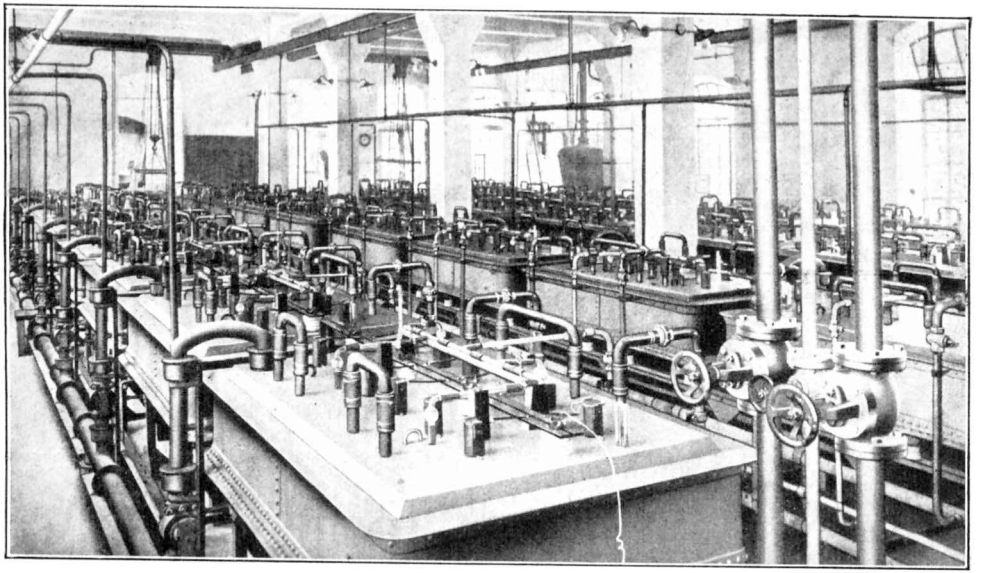


Fig. 102. Chlor-Ätznatron-Anlage für eine Tagesproduktion von etwa 1000 kg Chlorkalk, ausgeführt für die Sulfitzellulosefabrik Pötschmühle der Firma Ignaz Spiro & Söhne, Krummau a. d. Moldau.

Die einzelnen Elektrolyseure der Batterien sind nach dem in Fig. 101 gegebenen Schema gebaut.

Diese neue Lehre erfuhr bei ihrem ersten Auftauchen gerade von seiten der älteren Chemiker den schärfsten Widerspruch. In der Tat schien sie auch allen bisherigen Erfahrungen ins Gesicht zu schlagen. Bringt man Natrium in Wasser, so gibt es ja sofort eine Wasserzersetzung, Wasserstoff entweicht, und das Natrium bildet unter Aufnahme eines Oxylradikals OH Ätznatron von der Form NaOH, welches sich im Wasser löst. Leitet man aber Chlorgas in Wasser, so wird es vom Wasser in erheblichen Mengen absorbiert und bildet das bekannte Chlorwasser mit starkem Chlorgeruch. Nichts indes von diesen beiden Dingen war bei einer einfachen Kochsalzlösung zu beobachten, in der ja doch nach Arrhenius freie Chlor- und Natriumteilchen vorhanden sein sollten.

Aber die Dissoziationstheorie nimmt ja auch nicht an, daß die Moleküle des gelösten Stoffes in ihre Atome, sondern daß sie in Ionen gespalten werden. Das Ion unterscheidet sich vom einfachen Atom oder auch von einer einfachen Atomgruppe durch eine positive oder negative elektrische Ladung. Nach der Art der Ladung gibt es positive und negative Ionen. In unserem Falle des Kochsalzes sind Kochsalzmoleküle in positive Natriumionen und in negative Chlorionen getrennt. Mit dieser Annahme führt die Dissoziationstheorie aber zu jenen elektrochemischen Anschauungen, die bereits um die Mitte des vorigen Jahrhunderts von Berzelius entwickelt wurden. Nach dieser Anschauung gibt es ausgesprochen positive und negative Elemente, deren stärkere oder schwächere chemische Verwandtschaft auf elektrischen Anziehungen ihrer Atome infolge ungleich-

namiger Ladungen beruht. Die Ionen der Elemente unterscheiden sich nun nach der genannten Theorie sehr stark von einfachen neutralen Atomen. Das Natriumion beispielsweise mit einer positiven elektrischen Elementarladung kann ruhig im Wasser schwimmen, ohne irgendwelche chemischen Reaktionen auszuüben. Das gleiche gilt vom Chlorion, welches ein überschüssiges Elektron, also eine negative Elementarladung, besitzt.

Das Bild ändert sich aber sehr stark, wenn wir zwei Platinbleche in unsere Salzlösung stecken und mit einer Stromquelle verbinden. Folgen wir der Richtung des negativen Stroms, wandern wir also in der Richtung des Elektronenflusses, als welchen wir ja jeden elektrischen Strom auffassen. Dann wird sich zunächst das mit dem negativen Pol unserer Stromquelle verbundene Platinblech mit Elektronen füllen, also negative elektrische Ladung zeigen. Infolgedessen wird es alle in seiner Nähe befindlichen positiven Natriumionen anziehen, wie sich ungleichnamige Elektrizitätsmengen nach dem Coulombschen Gesetz anziehen müssen. Sobald die Natriumionen aber das negativ geladene Platinblech berühren, gleichen sich die Ladungen aus. Aus dem Blech springt ein Elektron zu dem Natriumion hin, und im gleichen Moment verwandelt sich dies in ein neutrales Natriumatom mit allen Eigenschaften eines solchen. Unter anderen Verhältnissen würde es sich mit einem zweiten Natriumatom zu einem Natriummolekül vereinigen. Da es sich hier aber im Wasser befindet, so kommt es gar nicht zu dieser Molekülbildung, sondern es treten sofort die uns vom Natrium bekannten chemischen

Reaktionen ein. Es bilden sich unter Aufspaltung eines Wassermoleküls H_2O freier Wasserstoff und Ätznatron NaOH, welch letzteres sofort in Lösung geht.

Der entsprechende Vorgang spielt sich an dem anderen, mit dem positiven Pol der Stromquelle verbundenen Platinblech ab. In diesem Blech herrscht Elektronenmangel, da die Stromquelle die Elektronen von hier zu sich hinsaugt. Das Blech zeigt also positive Ladung und zieht die negativen Chlorionen zu sich heran. Bei der Berührung mit dem Blech geben diese ihre überschüssigen Elektronen an

Fig. 103. Elektrolyseur der Siemens & Halske A.-G. zur Zerlegung von Kochsalzlösung zwecks Gewinnung von Natriumhypochlorit.

Die Elektrolyse vollzieht sich nach den Formeln:

1. $2\,NaCl = 2\,Na + Cl_2$
   Elektrolyt: Kochsalz (Chlornatrium) — Kathode: Natrium — Anode: freies Chlor

2. $2\,Na + 2\,H_2O = 2\,NaOH + H_2$
   Natrium + Wasser = Natriumhydroxyd (Ätznatron) + gasförmig entweichender Wasserstoff

3. $2\,NaOH + Cl_2 = NaCl + H_2O + NaOCl$
   Natriumhydroxyd (Ätznatron) + Chlor = Kochsalz + Wasser + unterchlorigsaures Natrium (Natriumhypochlorit)

Das Natriumhypochlorit dient zur Reinigung von Wasser, besonders in den großstädtischen Badeanstalten. (Chlorreinigung.)

das Blech ab und sind im gleichen Moment zu neutralen Chloratomen geworden, die sich zu Chlormolekülen vereinigen und im Wasser gelöst bleiben. Sobald wir also auf unsere Lösung einen Strom wirken lassen und eine Elektrolyse vornehmen, treten tatsächlich alle diejenigen Erscheinungen ein, die man bereits bei einer einfachen Lösung erwarten müßte, wenn eben nicht bei dieser eine Spaltung der Moleküle in Jonen, sondern in Atome stattfände.

Die Frage ist zu beantworten, wie sich die Dinge nun weiter entwickeln, wenn wir den Strom längere Zeit auf unsere Lösung wirken lassen. Nach der kinetischen Wärmetheorie herrscht in unserer Lösung, die ja eine gewisse Temperatur besitzt, eine fortwährende, recht beträchtliche, unregelmäßige Bewegung der kleinsten Teilchen. Positive und negative Jonen stoßen zusammen und vereinigen sich wieder zu neutralen Molekülen. Andere Moleküle prallen aufeinander und spalten sich in Jonen. In diese zunächst vollkommen regellose und nach keiner Seite gerichtete Bewegung bringt nun aber der elektrische Strom eine gewisse Ordnung und Richtung. Alle positiven Jonen werden von dem positiven Platinblech abgestoßen, von dem negativen angezogen. Umgekehrt ergeht es den negativen Jonen.

Es ist also eine Wanderung dieser Jonen in der Lösung zu erwarten. In früheren Jahrzehnten, vor dem Aufkommen der Dissoziationstheorie, glaubte man nicht an eine solche Bewegung. Man nahm an, daß das negative Blech dem nächstgelegenen Salzmolekül ein positives Natriumion entrisse und neutralisierte, während das übrigbleibende negative

Chlorion nun seinerseits wieder dem nächsten Salzmolekül das Natrium entzöge. Nach dieser Anschauung bliebe also jedes Molekül an seiner Stelle, und nur dadurch, daß jedesmal die rechte Hälfte des nten Moleküls mit der linken Hälfte des n + 1ten Moleküls ein neues Molekül bilde, würden die entsprechenden Molekülhälften, also in unserem Falle Natrium und Chlor, an den beiden Elektroden fortwährend und in beträchtlichen Mengen frei. Es ist wahrscheinlich, daß auch dieser Vorgang bei der Elektrolyse stattfindet. Daß aber außerdem auch die bereits erwähnte Ionenwanderung in jedem Elektrolyt stattfindet, ist sicher erwiesen, und auch die Geschwindigkeit dieser Wanderungen ist festgestellt. Nachstehend seien einige Geschwindigkeiten nach den Angaben von Dr. Kies gegeben.

a) Positive Jonen

H (Wasserstoffionen)	0,00300	cm	pro Sekunde
K (Kaliumionen)	0,00057	„	„ „
Na (Natriumionen) . . .	0,00035	„	„ „
NH_4 (Ammoniumionen) .	0,00055	„	„ „
Ag (Silberionen)	0,00046	„	„ „

b) Negative Jonen

OH (Hydroxylionen) . .	0,00156	cm	pro Sekunde
Cl (Chlorionen)	0,00059	„	„ „
J (Jodionen)	0,00061	„	„ „
NO_3 (Salpetersäurereſtionen)	0,00053	„	„ „
$C_2H_3O_2$ (Essigsäurereſtionen)	0,00029	„	„ „

Die vorstehende Tabelle zeigt uns nicht nur die Jonen einzelner Elemente, wie der salzbildenden Stoffe Chlor und

Jod sowie der Alkalimetalle Kalium und Natrium, sondern auch ionisierte Atomgruppen, wie beispielsweise das Hydroxyl OH. Solche eng verknüpften Atomgruppen lernten wir bereits bei der Betrachtung der molekularen Struktur verschiedentlich kennen und bezeichneten sie als Radikale. Aus der vorstehenden Tabelle sehen wir, daß das Oxylradikal stets als elektronegatives Ion auftritt, während der Wasserstoff immer als positives Ion in die wäßrige Lösung geht.

Durch diese Beobachtung und Untersuchung der Vorgänge bei der Lösung im Wasser mit darauffolgender Elektrolyse ist man heute auch in der Lage, gewisse chemische Typen besser zu definieren und in ihren Wirkungen zu erklären, als es vordem der Fall war. Die Chemie unterscheidet bekanntlich zwei große Gruppen von Verbindungen, die Basen und die Säuren. Rein äußerlich erkennt man diese Stoffe durch ihre Einwirkung auf Lackmuspapier, wobei die einfache Gedächtnisregel gilt: Base bläut, Säure rötet. Der Zusammensetzung nach betrachtet man die Base als Verbindung eines Metalls mit einer Oxylgruppe, gibt ihr also die allgemeine Form MOH, wobei M ein Metall bedeutet. Im Gegensatz dazu wird die Säure als die Verbindung einer Atomgruppe mit einem Wasserstoffatom angesehen von der allgemeinen Form RH, wobei R den Säurerest bedeutet. Bei jeder Lösung in Wasser müssen bei einer Base negative Hydroxylionen, bei einer Säure positive Wasserstoffionen auftreten, und man führt heute alle die charakteristischen Wirkungen der beiden Verbindungstypen auf die Tätigkeit der HO- oder H-Jonen zurück.

Schon die Alchimisten des Mittelalters hatten den Satz aufgestellt: Corpora non agunt nisi fluida, d. h. auf deutsch: Die Körper reagieren nur in flüssigem Zustande, sei es gelöst oder geschmolzen. Die Wahrheit dieses Wortes ist uns jetzt klar, nachdem wir die Wirkung der Lösung im Wasser, den Zerfall gelöster Moleküle in positive und negative Atomgruppen oder Atome, eben in jene Ionen, kennengelernt haben. Bringen wir etwa eine basische Verbindung MOH und eine Säure RH in demselben Wasser in Lösung, so tritt sofort die teilweise Dissoziation ein. Die Säure zerfällt in ein positives Wasserstoffion und den negativen Säurerest R, die Base in ein negatives Oxylion OH und ein positives Radikal oder Metall M. Wasserstoffion H und Hydroxylion OH vereinigen sich sofort zu Wasser H_2O. Das negative Radikal der Säure R und das positive Radikal der Base M schließen sich dagegen zu einem Salz von der Form MR zusammen.

Man unterscheidet nun in der Chemie bekanntlich stärkere und schwächere Basen und Säuren. Eine exakte Definition dieses Begriffes vermochte man aber vor der Ergründung der Lösungserscheinungen nicht zu geben. Man bezeichnete diejenige Säure als die stärkere, welche die andere Säure aus ihren Verbindungen zu vertreiben vermochte. Heute läßt sich dieser Begriff aber auch zahlenmäßig definieren. Die stärkere Säure bzw. Base ist immer diejenige, von der bei einer Lösung in Wasser unter sonst gleichen Verhältnissen ein größerer Prozentsatz ihrer Moleküle dissoziiert wird. Denn wir müssen ja immer daran festhalten, daß bei einer Lösung keineswegs die gesamte

Anzahl der gelösten Moleküle in Ionen aufgespalten wird, sondern ein gewisser Prozentsatz, der einmal von der Art des gelösten Stoffes, weiter aber auch von der Temperatur und von der Stärke der Lösung abhängt. Im allgemeinen sind in einer sehr schwachen Lösung prozentual mehr Moleküle dissoziiert als in einer starken.

Normalerweise bezieht man alle Angaben über den Grad der Dissoziation auf Normallösungen von 18 Grad Celsius. Unter einer Normallösung versteht man dabei eine

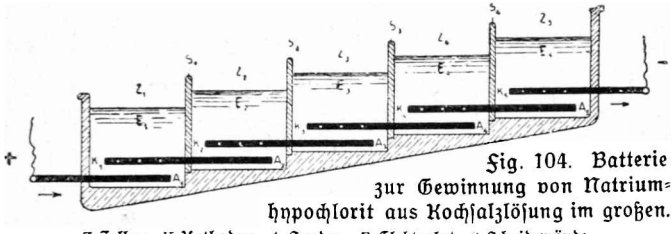


Fig. 104. Batterie zur Gewinnung von Natriumhypochlorit aus Kochsalzlösung im großen.

Z Zellen, *K* Kathoden, *A* Anoden, *E* Elektrolyt, *S* Scheidewände.
Die einzelnen Zellen sind in der großen Zahl hintereinandergeschaltet, daß die ganze Einrichtung mit dem gewöhnlichen Netzstrom der Lichtleitung betrieben werden kann.

Lösung, welche in einem Liter Wasser ein Grammol des gelösten Stoffes enthält. Das Grammol bedeutet dabei so viel Gramm, wie das Molekulargewicht des betreffenden Stoffes beträgt. Man hat nun beispielsweise festgestellt, daß in einer Normallösung von Flußsäure FlH 3 Prozent aller Moleküle dissoziiert sind. Dagegen ist die prozentuale Dissoziation der Salzsäure wesentlich größer, und auch das Natriumsalz der Flußsäure besitzt einen höheren Dissoziationsgrad. Wir vermengen nun zwei Normallösungen von Fluornatrium und Salzsäure. Das Fluornatrium liefert in diesen positive Natriumionen und negative Fluorionen,

die Salzsäure positive Wasserstoffionen und negative Chlorionen. Es befinden sich daher in der gemischten Lösung die beiden Komponenten der Flußsäure, Wasserstoff- und Fluorionen, in einem Prozentsatz, der über die angegebenen 3 Prozent beträchtlich hinausgeht. Daher muß eine Rückbildung dieser Ionen in Form ihrer Vereinigung zu Flußsäure von der Form HFl stattfinden, während Natrium- und Chlorionen, die Komponenten des Kochsalzes, welche zu höherem Prozentsatz als freie Ionen in der Lösung existieren können, übrigbleiben. Äußerlich stellt sich aber dieser Vorgang so dar, als ob die stärkere Salzsäure die schwächere Flußsäure aus ihrem Salz vertrieben hat.

Wir wollen nun verschiedene Lösungen den Wirkungen der Elektrolyse aussetzen und die dabei auftretenden Erscheinungen untersuchen. Wir wählen zu diesem Zweck eine Lösung von Kupfervitriol SO_4Cu in Wasser. Das Kupfervitriol, auch schwefelsaures Kupfer genannt, ist ein Salz. Es enthält in Übereinstimmung mit dem vorstehend gegebenen Schema das Radikal der Schwefelsäure H_2SO_4 von der Form SO_4 und das metallische Radikal einer Base, nämlich Kupfer Cu. Bei der Lösung muß sich ein Teil der Vitriolmoleküle in negative Ionen von der Form SO_4 und in positive Kupferionen von der Form Cu spalten. Die Atomgewichte für die Bestandteile sind 32 für Schwefel, 16 für Sauerstoff und 63,5 für Kupfer. Einem Kupferion vom Gewicht 63,5 entspricht daher ein Säureion SO_4 vom Gewicht $32 + 4 \times 16 = 96$. Bei der Elektrolyse wird das positive Kupfer an die Kathode wandern, der negative Rest SO_4 an die positive Anode, und zwar treten diese beiden Ver-

bindungen genau in den Gewichtsverhältnissen 63,5 zu 96 auf. Das Kupfer schlägt sich als metallisches Kupfer an der Kathode nieder. Während das Natrium bei unserem früheren Versuche sich sofort im Wasser zersetzte, kann ja das Kupfer im Wasser ohne weiteres bestehen und bildet den bekannten galvanischen Niederschlag. Etwas anderes ist es dagegen mit dem Schwefelsäureradikal SO_4. Dies kann wohl als negatives Ion in der Lösung existieren, aber nicht mehr als neutralisiertes Molekül. Es braucht dringenden Ersatz für das zweiwertige, ihm bei der Elektrolyse abhanden gekommene Kupfer und sucht ihn, wo es ihn findet. Besteht die Anode aus Kupferblech, so ist die Angelegenheit verhältnismäßig einfach. Infolge des Lösungsdruckes, welchen Kupfer in Kupfervitriol besitzt, treten positive Kupferionen in die Lösung und vereinigen sich mit dem Säurerest SO_4 wieder zu Kupfervitriolsalz. Sofern überhaupt ein Anodenmetall vorhanden ist, dessen Lösungsdruck den widerstehenden osmotischen Druck der Flüssigkeit zu überwinden vermag, gehen Atome davon in die Lösung und bilden mit dem Säurerest SO_4 ein Salz. Besteht die Anode beispielsweise aus Eisen, so bildet sich Eisenvitriol von der Form $FeSO_4$. Aber das Bild ändert sich, wenn ein Metall von sehr geringem Lösungsdruck, beispielsweise Platin, für die Anode genommen wurde. Dann findet der Säurerest SO_4 keine Metallionen.

Ist dies der Fall, dann wirkt sich eine andere Erscheinung, nämlich die Ionisierung des Wassers, selbst aus. Auch in reinem Wasser sind stets einige der H_2O-Atome in positive Wasserstoffionen und negative Hydroxylionen

gespalten. Die Zahl dieser Ionen ist sehr gering. Sie ist nach verschiedenen Methoden übereinstimmend dahin gefunden worden, daß in 12000 Kubikmeter Wasser 1 Gramm H-Ionen und 17 Gramm Hydroxylionen vorhanden sind. Das ist gewiß nicht allzuviel. Aber erstens bilden sich automatisch sofort neue Ionen dieser Art, sowie einige der vorhandenen aufgebraucht und anderweitig gebunden werden. Andererseits sind die negativen Hydroxylionen bereits durch die elektrische Anziehung in der Nähe der positiven Anode in besonderer Dichte versammelt. Sie befinden sich aber nun in einer ganz ähnlichen Lage, wie der Säurerest SO_4. Sobald sie nämlich durch Abgabe ihrer negativen Ladung an die Anode ihren Ioncharakter verlieren und einfache Oxylradikale werden, können sie nicht mehr frei existieren. Es könnten sich zur Not zwei Oxylradikale zu einem Wasserstoffsuperoxydmolekül von der Form H_2O_2 verbinden. Aber auch diese Verbindung wäre wenig beständig und würde sich sehr bald freiwillig in Sauerstoff und Wasser aufspalten. Tatsächlich tritt denn auch etwas anderes ein.

Das Oxylion besteht ja aus einem Wasserstoffatom mit einer elektrischen positiven Elementarladung und einem Sauerstoffatom mit zwei negativen elektrischen Ladungen. Durch ihre Vereinigung zum Hydroxyl wird die eine Ladung des Sauerstoffs von der entgegengesetzten Ladung des Wasserstoffs neutralisiert, eine negative Ladung bleibt hingegen wirksam übrig. In nächster Nähe der positiven Anode wirkt nun eine sehr starke anziehende Kraft auf den negativen Sauerstoff und eine starke abstoßende Kraft auf

den positiven Wasserstoff. Der Effekt dieser verschieden gerichteten Kräfte auf die beiden Bestandteile des Hydroxyls äußert sich schließlich darin, daß es zerreißt.

Ein positives Wasserstoffion wird frei und von der Anode abgestoßen, während ein negatives Sauerstoffion

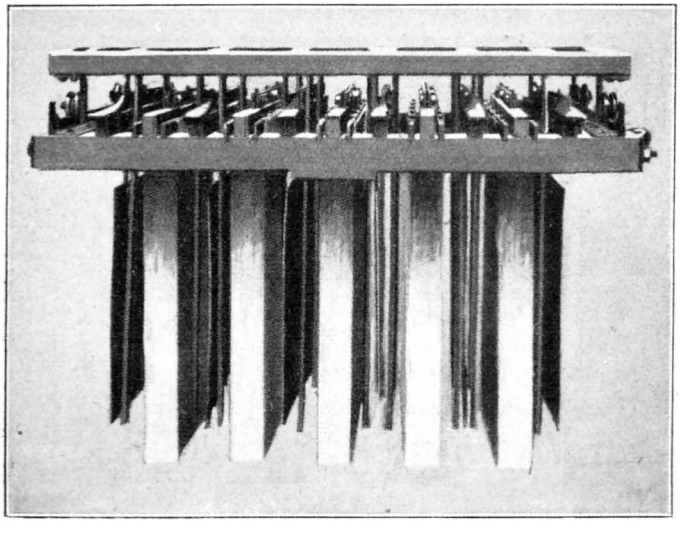


Fig. 105. Elektrodensatz für die Kupferraffinerie durch Elektrolyse. Die Anoden bestehen aus dicken Platten gegossenen Schwarzkupfers, das sich auflöst und als chemisch reines Kupfer auf den Kathoden niederschlägt. Die Kathoden bestehen aus dünnen Blechen aus reinem Kupfer. Das Elektrolyt ist eine Kupfervitriollösung mit geringem Schwefelsäurezusatz.

ihr zueilt, seine Ladung abgibt und zum neutralen Sauerstoffatom wird. Da es aber als solches nicht frei existieren kann, verbindet es sich sofort mit einem anderen Sauerstoffatom zum zweiatomigen Sauerstoffmolekül, es tritt also freier Sauerstoff O_2 in Bläschenform an der Platinanode

auf. Dagegen vereinigen sich die abgestoßenen positiven Wasserstoffionen mit dem negativen Säurerest ion SO_4 zu neutralen Schwefelsäuremolekülen von der Form H_2SO_4. Wir müssen uns noch erinnern, daß bei der teilweisen Dissoziation des Wassers jedem Hydroxylion ein Wasserstoffion entsprach, und daß diese positiven Wasserstoffionen sich in der Umgebung der negativen Kathode ansammeln müssen. Aber sie finden hier keine Gelegenheit zur chemischen Betätigung, geben ihre positive Ladung an die Kathode ab und treten als freier Wasserstoff von der Form H_2 bläschenförmig an der Kathode auf.

Nach dem bisher Gesagten haben wir also folgende Erscheinungen: Setzen wir eine Kupfervitriollösung der Elektrolyse zwischen zwei Kupferelektroden aus, so löst sich einfach Kupfer an der Anode und schlägt sich in gleicher Menge an der Kathode nieder. Nehmen wir dagegen eine Kupferkathode und eine Eisenanode, so schlägt sich Kupfer auf der Kathode nieder, es verschwindet die dem niedergeschlagenen Kupfer äquivalente Kupfervitriolmenge aus der Lösung. Dafür geht aber von der eisernen Anode her eine äquivalente Eisenmenge in die Lösung und bildet eine entsprechende Menge Eisenvitriol. Nach einer gewissen Zeit wird sämtliches Kupfervitriol aus der Lösung verschwunden sein. Dann beginnt sich aus dem Eisenvitriol Eisen auf der Kathode niederzuschlagen, und wir haben jetzt praktisch zwei eiserne Elektroden in Eisenvitriollösung. Wird dagegen die Anode aus Platin gewählt, so schlägt sich zwar ebenso wie bei den anderen Versuchen Kupfer auf der Anode nieder. Dagegen geht gleichzeitig mit diesem

Niederschlag eine Zersetzung des in der Lösung vorhandenen Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff einher. Der stets positive Wasserstoff tritt bläschenförmig an der Kathode, der elektronegative Sauerstoff an der Anode auf. Dieser Vorgang vollzieht sich so lange, bis jedes Kupfervitriolmolekül der Lösung sein Kupfer an die Kathode abgegeben hat und in ein Schwefelsäuremolekül verwandelt worden ist. Danach stehen die Elektroden in verdünnter Schwefelsäure und die weiteren Erscheinungen beschränken sich auf eine reine Wasserzersetzung.

Betrachten wir nun die Verhältnisse zwischen den an den Elektroden ausgeschiedenen chemischen Stoffen und den für die Elektrolyse verbrauchten Elektrizitätsmengen. Wir sahen bereits, daß diese für jedes abgeschiedene Atom bzw. Molekül keineswegs gleich sind. Das Sauerstoffion brauchte die doppelte Menge positiver Elektrizität zu seiner Neutralisation wie das Wasserstoffion an negativer Elektrizität. Es mußte also das Sauerstoffatom zwei Elektronen an die Anode abgeben, um neutralisiert zu werden, das Wasserstoffion mußte zu dem gleichen Zweck ein Elektron aus der Kathode herausziehen.

Nun ist aber nach einem Grundgesetz der Elektrizitätslehre die Stromstärke in allen Querschnitten eines unverzweigten Stromkreises gleich groß, d. h. es laufen durch jeden Querschnitt einer elektrischen Strömung in der Zeiteinheit gleich viel Elektronen. Daraus folgt, daß sich bei einer reinen Wasserzersetzung an der Kathode die doppelte Anzahl von Wasserstoffionen zu Wasserstoffatomen neutralisieren und ausscheiden müssen, wie Sauerstoffionen an der

Anode. Und da in beiden Fällen je zwei Atome sich zu einem Wasserstoff- bzw. Sauerstoffmolekül vereinigen, so müssen die doppelte Anzahl von Wasserstoffmolekülen an der Kathode auftreten, wie Sauerstoffmoleküle an der Anode. Und da schließlich das Volumen eines Gases bei gleicher Temperatur und gleichem Druck proportional der

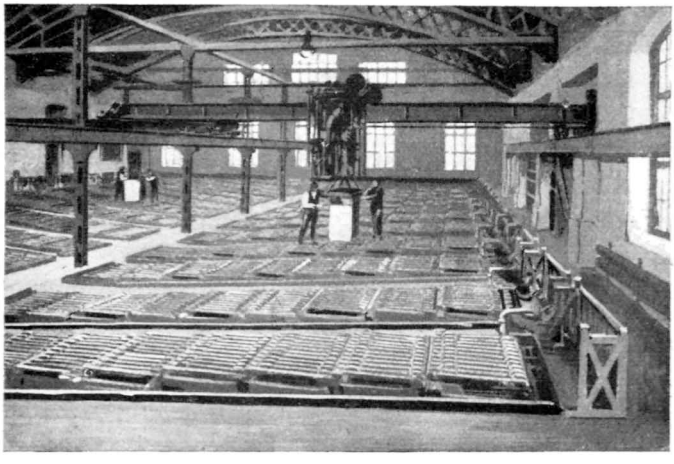


Fig. 106. **Blick in eine große Kupferraffinerie.**
Ein mechanischer Kran besorgt die notwendige Auswechselung der Elektroden. Aufgezehrte Anoden werden durch neue ersetzt, die stark gewordenen Kathoden herausgehoben und zur Schmelze gebracht. Die Arbeiter neben der Elektrode am Kran geben einen Begriff von den Größenverhältnissen.

Anzahl seiner Moleküle ist, so muß das Volumen des an der Kathode frei werdenden Wasserstoffs das Doppelte des an der Anode entwickelten Sauerstoffs betragen, was mit den Beobachtungen durchaus übereinstimmt.

Wir sehen hier, daß dieselbe Strommenge nicht nur volumenmäßig, sondern auch dem Gewichte nach an den

beiden Elektroden sehr verschiedene Mengen der einzelnen Elemente ausscheidet. Aber diese Mengen sind keineswegs regellos, sondern stehen in einem bestimmten Äquivalentsverhältnis. Zur genaueren Feststellung dieser elektrochemischen Äquivalente müssen wir uns zunächst über die Maßeinheit der Elektrizitätsmenge einigen. Wir gehen dabei von der praktischen Einheit der Stromstärke, dem Ampere aus. Ein elektrischer Strom besitzt die Einheit der Stromstärke oder fließt mit der Stärke von einem Ampere, wenn er in jeder Sekunde die Elektrizitätsmenge von einem Coulomb durch den Querschnitt des Stromlaufes sendet.

Man hat nun mit größter Genauigkeit elektrolytische Zersetzungsversuche mit reinen Silberelektroden in einer Lösung salpetersauren Silbers von der Form $AgNO_3$ angestellt und dabei gefunden, daß ein Strom von einem Ampere in einer Sekunde 0,001118 Gramm Silber auf der Kathode niederschlägt. Nun beträgt das Atomgewicht des einwertigen Silbers 107,88. Ein Grammol oder ein Grammäquivalent Silber besitzt demnach ein Gewicht von 107,88 Gramm, und da man für die Niederschlagung von 0,001118 Gramm Silber ein Coulomb benötigt, so braucht man für das Grammäquivalent Silber 107,88 : 0,001118 = 96494 Coulomb.

Diese Zahl ist in der Elektrochemie von Wichtigkeit, denn sie gilt auch für das Grammäquivalent eines jeden anderen Stoffes. Das Grammäquivalent aber wird erhalten, indem man das Atomgewicht durch die Wertigkeit des betreffenden Stoffes dividiert. Das Atomgewicht des Wasserstoffs ist gleich 1 und seine Wertigkeit ebenfalls.

Hier beträgt also das Grammäquivalent tatsächlich 1 Gramm, und wir können nun sagen, daß 1 Gramm Wasserstoff in einem elektrolytischen Prozeß beim Durchgange von 96494 Coulomb ausgeschieden wird. Das Atomgewicht des Sauerstoffs beträgt hingegen 16, und seine Wertigkeit ist 2. Das Grammäquivalent Sauerstoff umfaßt daher 8 Gramm Sauerstoff, und wenn wir die bei dem früher beschriebenen Versuch entwickelten Wasserstoff- und Sauerstoffmengen sorgfältig auffangen und wiegen, so werden wir in der Tat finden, daß dem Gewicht nach immer 8mal so viel Sauerstoff wie Wasserstoff entwickelt wird.

Nach der gegebenen Regel lassen sich nun ohne Schwierigkeiten die Äquivalenzgewichte aller anderen Stoffe und Radikale berechnen. Chlor hat beispielsweise das Atomgewicht 35,5 und ist einwertig. Hier beträgt das Grammäquivalent also 35,5 Gramm. Kupfer mit dem Atomgewicht 63,57 und zwei Valenzen hat das Äquivalentgewicht 31,78 Gramm, Aluminium mit dem Atomgewicht 27 und drei Valenzen das Äquivalentgewicht 9. In der Praxis wird man freilich umgekehrt vorgehen. Man wird das zu untersuchende Element unter Aufwendung einer genau gemessenen Anzahl von Coulombs niederschlagen, wird die niedergeschlagene Menge durch äußerst genaue Wägungen ermitteln und danach das Äquivalentgewicht feststellen. Da das Äquivalentgewicht aber nichts anderes als das Atomgewicht, dividiert durch die Wertigkeit, ist, und da die Wertigkeit immer eine ganze Zahl sein muß, so geben solche elektrolytischen Versuche ein wertvolles Hilfsmittel zur Bestimmung der Atomgewichte und der Wertig-

keiten. Nach der Stellung des Kupfers im periodiſchen Syſtem der Elemente hätte man erwarten können, daß das Kupfer einwertig ſein müſſe. Die Elektrolyſe beweiſt indes ſeine Zweiwertigkeit.

Wir gingen bei der Unterſuchung der elektrolytiſchen Vorgänge zunächſt von den Erſcheinungen bei der Löſung irgendeines Stoffes in Waſſer aus und lernten dabei die Diſſoziation, die teilweiſe Zerlegung von Molekülen in Jonen kennen. Wir ſahen, daß irgendein poſitives oder negatives Jon ſich in chemiſcher Beziehung infolge des Fehlens oder Zuviels einer oder mehrerer elektriſcher Elementarladungen ſich ganz gewaltig von dem einfachen Atom unterſcheidet. Die gleichen Erſcheinungen treten nun aber auch beim Schmelzen der Subſtanzen auf. Es iſt gleichgültig, ob man einen Stoff durch Löſung oder durch Erwärmung in den flüſſigen Zuſtand zerſetzt. In beiden Fällen findet eine teilweiſe Diſſoziation ſtatt, und ſowohl Löſungen wie Schmelzen ſind daher für eine elektrolytiſche Behandlung gleich gut geeignet. Welcher von beiden Formen man

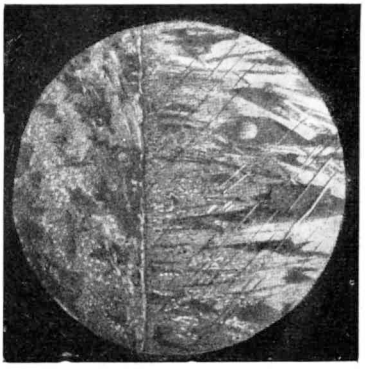


Fig. 107.
Schnitt durch eine Kathode aus reinem Kupferblech (links) mit darauf niedergeſchlagenem Elektrolytkupfer (rechts).
Mikrophotographie, hundertfache Vergrößerung. Die Abbildung zeigt (abgeſehen von kleinen kriſtalliniſchen Verſchiedenheiten) links und rechts das gleiche reine Kupfer.

jeweilig den Vorzug gibt, hängt von den praktiſchen Verhältniſſen ab. Jedenfalls aber werden beide Verfahren häufig und mit Erfolg benutzt.

So fanden wir beiſpielsweiſe bei unſeren Verſuchen, eine Kochſalzlöſung zu zerſetzen, daß es nicht möglich war, die beiden Produkte der Elektrolyſe, Natrium und Chlor,

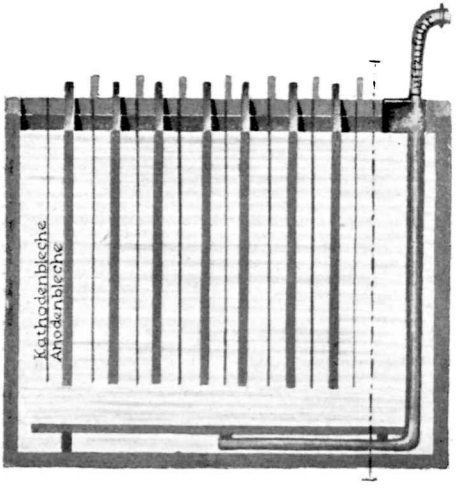


Fig. 108.
Bad zur elektriſchen Silberraffinerie (Schnitt), feine Kathodenbleche aus chemiſch reinem Silber, dicke Anoden aus gegoſſenem unreinen Silber.
Die Elektroden ſtehen in einer Silbernitratlöſung. Auch die Silberraffinerie durch Elektrolyſe findet heute in ganz großem Maßſtabe Anwendung.

zu erhalten, da ſie ſofort mit dem Waſſer der Löſung neue Reaktionen begannen. Hat man es nur auf das Chlor abgeſehen, ſo kann man mit ſolcher Löſung arbeiten, da ſchließlich freies Chlor aufgefangen werden kann, nachdem das Waſſer einmal mit Chlorgas geſättigt iſt. Nach dieſem Verfahren der Elektrolyſe von Kochſalzlöſungen wurden denn auch beiſpielsweiſe die rieſenhaften Chlorgasmengen für den Gaskampf im Weltkriege gewonnen. Will man jedoch das Natriummetall haben, ſo muß man wohl oder

übel zur Schmelze greifen. Man muß das Kochsalz in einem feuerfesten Tiegel bis zum Schmelzpunkt auf 776 Grad Celsius erhitzen. Bei der Elektrolyse scheidet sich dann an der Kathode metallisches Natrium, an der Anode Chlorgas ab. Dies Verfahren krankt aber an dem Mangel, daß metallisches Natrium bereits bei 740 Grad siedet, daß also ein beträchtlicher Teil des gewonnenen Natriums aus dem Tiegel herausdampft, wenn man es nicht durch geschickt angebrachte Vorlagen auffängt. In der Praxis geht man bei der Natriumgewinnung deshalb von der Schmelze des Natriumhydroxyds von der Form NaOH aus, dessen Schmelzpunkt unter dem Siedepunkt des Natriummetalles liegt. Bei der Elektrolyse scheidet sich an der Kathode Natriummetall aus, während an der Anode Oxylgruppen von der Form OH frei werden, die sich zu Wasser H_2O und Sauerstoff O_2 verbinden. Der Sauerstoff entweicht, während das in die Schmelze gehende Wasser seiner Menge nach gerade ausreicht, um die Hälfte des durch den bisherigen Prozeß gewonnenen Natriummetalls wieder in Ätznatron zurückzuverwandeln. Dies Darstellungsverfahren kann daher höchstens mit einem Wirkungsgrad von 50 Prozent arbeiten, aber es ist die einzige überhaupt in großem Maßstabe brauchbare Methode und wird deshalb in Verbindung mit billigen Wasserkräften zur Natriumgewinnung benutzt.

Während der Bedarf des Weltmarktes an metallischem Natrium verhältnismäßig gering ist, wird das bereits erwähnte Natriumhydroxyd oder Ätznatron für viele Fabrikationen, beispielsweise für die Zelluloſegewinnung aus Stroh und Holz, in sehr großen Mengen verbraucht. Die

Darſtellung erfolgt elektrolytiſch aus einer konzentrierten Kochſalzlöſung. Dabei iſt das Bad durch eine poröſe Tonwand, ein ſogenanntes Diaphragma, in den Kathoden- und Anodenraum getrennt. Die Kathode, an der ſich das Ätznatron bildet, beſteht aus Eiſen, die Anode aus Eiſenoxyd-

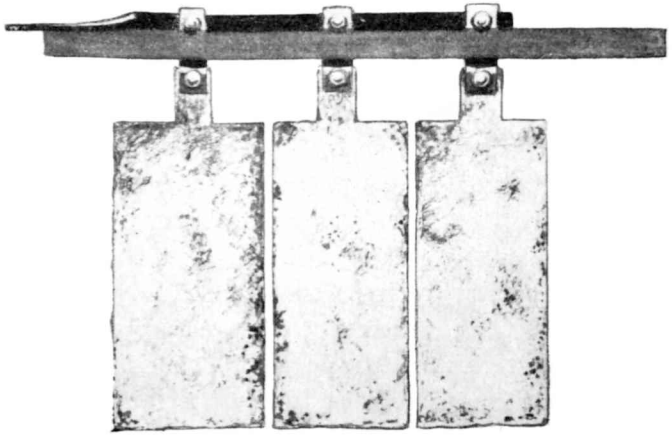


Fig. 109. Silberanoden bei der Einhängung in das Bad (ſtarke Platten aus Gußſilber).

oxydul, welches vom Chlor nicht angegriffen wird. Bei dieſer Anordnung erhält man die Ätznatronlöſung frei von Chlorgas in dem Kathodenraum.

Trotzdem iſt auch dies Verfahren noch keineswegs ideal ſchön. Sobald ſich nämlich die Kochſalzlauge in dem Kathodenraum genügend mit Ätznatron NaOH angereichert hat, nimmt auch dies an der Elektrolyſe teil. An der Kathode ſondert ſich Natriummetall ab, welches ſofort Waſſer H_2O aufſpaltet und wieder Ätznatron NaOH unter Abſtoßung

von freiem Wasserstoff bildet. Hingegen wandern die bei der Elektrolyse des Ätznatrons frei werdenden Hydroxylionen durch das Diaphragma zur Anode und bilden dort Wasser und freien Sauerstoff. Man bekommt also infolge dieser sekundären Erscheinungen neben der beabsichtigten Chlor-

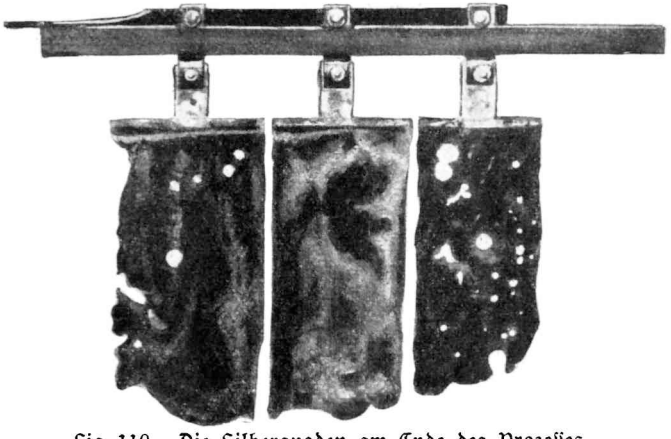


Fig. 110. Die Silberanoden am Ende des Prozesses.
Die Silberblöcke sind bis auf schwache Reste verschwunden, im Silbernitrat des Bades aufgelöst und an der Kathode wieder niedergeschlagen.

Natriumzerlegung eine Wasserzersetzung, die natürlich beträchtliche Energiemengen verbraucht und mit wachsendem Ätznatrongehalt immer stärker wird. In der Praxis bricht man die Elektrolyse daher ab, sobald das Kathodenbad etwa 8 Prozent Ätznatron enthält. Diese Ätznatron- und Kochsalzlauge wird dann eingedampft, wobei das Kochsalz bis auf verschwindende Mengen ausfällt und reine Ätznatronlauge abgezapft werden kann. Der Wasserstoff tritt bei diesem Verfahren als ein energieverzehrendes und un-

erwünschtes Nebenprodukt auf, dessen Menge man durch frühzeitige Unterbrechung des Prozesses möglichst gering zu halten versucht. Immerhin ist die Wasserstofferzeugung beispielsweise in den Bitterfelder chemischen Werken so bedeutend, daß dort alljährlich viele Tausende von Kubikmeter Wasserstoff für die Füllung von Freiballons verwandt werden.

Die Elektrolyse der Alkalien war eine der ersten Taten der jungen Elektrochemie im Anfange des 19. Jahrhunderts. Der englische Physiker Davy, der Entdecker des nach ihm benannten elektrischen Lichtbogens, war im Besitze einer sehr starken Voltaschen Säule und benutzte sie, um die damals noch als Elemente betrachteten Erden Kalk, Kali und Natron in ihrer Schmelze zu elektrolysieren. So entdeckte er in den Jahren von 1803—06 die neuen Metalle Kalium, Natrium und Kalzium. Der elektrische Strom erwies sich schon damals bei seinem ersten Auftreten in der Chemie als ein chemisches Mittel von einer ganz ungeheuren Wirksamkeit. Er war stärker als alle bisher bekannten Reagenzien und Trennungsmittel.

In unserem Zeitalter der billigen Wasserkräfte wird denn auch vom elektrolytischen Prozeß sowohl in flüssigen Bädern als auch in feurigen Schmelzen in größtem Maßstabe Gebrauch gemacht. Wenn wir heute eine Aluminiumindustrie besitzen, die alljährlich Millionen Kilogramm metallischen Aluminiums gewinnt und zu den verschiedensten Gegenständen, vom Kochtopf bis zum Zeppelingerippe, verarbeitet, so verdanken wir dies der Elektrochemie. Man geht bei der Aluminiumgewinnung vornehmlich von einem

Mineral, dem Bauxit von der Zusammensetzung $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$, aus. Dies Mineral ist also ein Hydrat der Tonerde Al_2O_3. Es ist jedoch so schwer schmelzbar, daß man es mit einem Flußmittel versetzen muß. Hierzu wählt man ein anderes Mineral, den Kryolith von der Zusammensetzung $3\,NaF \cdot AlF_3$. Der Kryolith ist also ein Natrium-Aluminiumfluorid. Es spielt bei dem elektrolytischen Prozeß, wie bereits gesagt, nur die Rolle eines Flußmittels, in welchem sich der Bauxit auflöst. Durch den elektrischen Strom wird zwar das Natriumfluorid zum Teil ebenfalls zersetzt, aber bei der hohen Temperatur der Schmelze vereinigen sich die Komponenten sofort wieder zu Natriumfluorid, und an den Kohlenelektroden des Aluminiumofens scheidet sich einerseits metallisches Aluminium aus, andererseits Sauerstoff, welcher die Kohlenanode allmählich verzehrt.

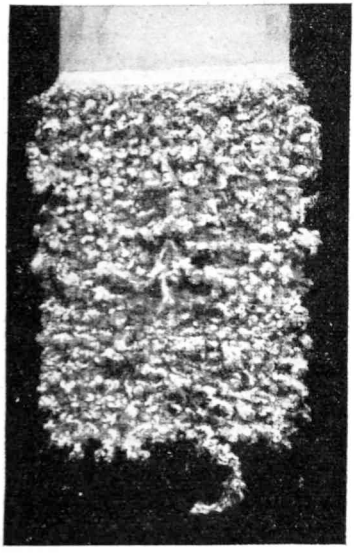


Fig. 111.
Der Niederschlag des elektrolytischen Silbers auf dem feinen Kathodenblech.
Das Silber hat die Neigung, baumartig (Dendriten) herauszuwachsen. Die Kathoden müssen daher öfter aus dem Bade genommen und glatt gewalzt werden.

Das Aluminium ist besonders durch sein geringes spezifisches Gewicht von 2,58 ausgezeichnet. Wöhler stellte es 1827

auf chemischem Wege her, indem er Aluminiumchlorid zusammen mit elektrolytisch gewonnenem Natriummetall erhitzte. Es trat dabei eine Umsetzung in metallisches Aluminium und Kochsalz ein. Das nach diesem Verfahren gewonnene Aluminium stellte sich für das Kilogramm aber auf 2500 Mark, war ziemlich genau so teuer wie Gold. Heute steht der Marktpreis des Aluminiums dagegen auf etwa einer Mark pro Kilogramm. In der Mitte des vorigen Jahrhunderts mußte Napoleon III. seinen Plan, die französischen Kürassiere mit Aluminiumpanzern auszurüsten, aufgeben, weil das Material unerschwinglich teuer war. Heute verdrängt das Aluminiumkabel sogar das Kupferkabel der elektrischen Freileitungen, weil es häufig billiger als dieses wird.

Zu den elektrolytisch gewonnenen Leichtmetallen gehört auch das Magnesium mit dem spezifischen Gewichte 1,75. Es wird aus dem Karnallit, einem Staßfurter Abraumsalz von der Form $MgCl_2 \cdot KCl$, gewonnen. Hier wird also die Verbindung von Magnesiumchlorid und Kaliumchlorid als feurige Schmelze im eisernen Tiegel, der gleichzeitig als Kathode dient, elektrolytisch zerlegt. Das Magnesium wird einerseits als photographisches Blitzlicht viel verwandt. Andererseits bildet es mit dem Aluminium eine wertvolle, als Magnalium bekannte Legierung, welche in der Technik weitgehendste Verwendung findet.

Soweit sich die elektrolytischen Prozesse in Lösungen vollziehen, darf man sicher sein, es mit elektrochemischen Vorgängen zu tun zu haben. Soweit sie sich jedoch in feurigen Schmelzen, also im elektrischen Ofen vollziehen,

ist dies nicht ohne weiteres sicher. Die Gewinnung des Aluminiums und anderer Metalle aus den Schmelzen ihrer Verbindungen ist selbstverständlich ein elektrochemischer Vorgang. In vielen anderen Fällen aber, beispielsweise

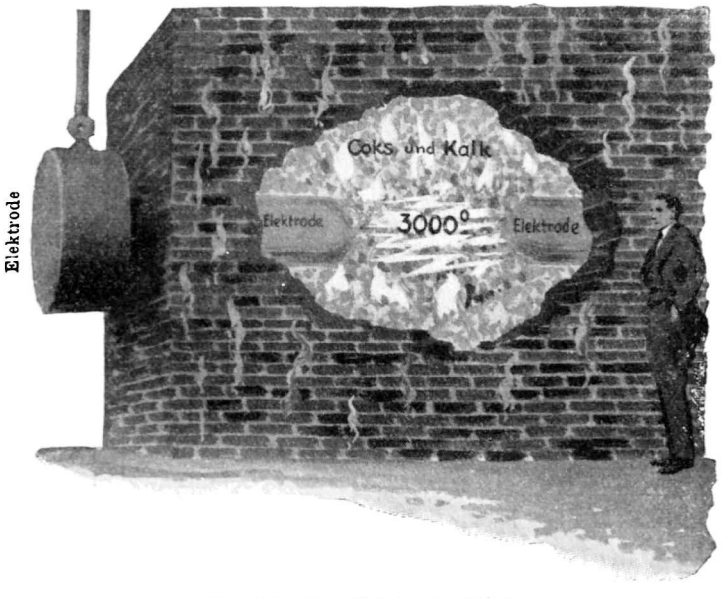


Fig. 112. Der Kalziumkarbidofen.

Kein elektrolytischer, sondern ein elektrothermischer Prozeß. Nur die Hitze von 3000° C löst die chemischen Reaktionen aus. Der kohlensaure Kalk wird gebrannt und zu Kalziumoxyd, das mit dem glühenden Kohlenstoff (Koks) derart in Wechselwirkung tritt, daß Kalziumkarbid C_2Ca und Kohlensäure CO_2 entstehen.

bei der Zusammenschmelzung von Kalk und Kohle zu Kalziumkarbid oder von Silizium und Kohle zu Karborund, handelt es sich um reine Wärmewirkungen, bei denen der elektrische Strom lediglich als Heizmittel dient. Man kann

für dieſe Prozeſſe daher auch ohne weiteres Wechſelſtrom benutzen, was für wirkliche Elektrolyſen ganz unmöglich wäre.

Das gleiche gilt von den elektriſchen Stahlöfen, in denen hochwertiger Edelſtahl erzeugt wird. Man bedient ſich hier des elektriſchen Stroms, weil er frei von allen Verunreinigungen dem zu verarbeitenden Material nur die gewünſchte Wärmeenergie zuführt. Aber auch nach Ausſcheidung dieſer elektrothermiſchen Verfahren bleiben noch überaus zahlreiche elektrochemiſche Methoden übrig, nach denen die chemiſche Induſtrie unſerer Tage mit einem Aufwand von Milliarden von Kilowattſtunden arbeitet.

Zelluloſechemie

Die Zelluloſe oder der Zellſtoff iſt ein Kohlenhydrat von der Form $C_{12}H_{20}O_{10}$. Dieſe Formel gibt jedoch nur das prozentuale Verhältnis der bei der Analyſe gefundenen Beſtandteile an Kohlenſtoff, Sauerſtoff und Waſſerſtoff. Es beſteht indes die begründete Vermutung, daß das Zelluloſemolekül ſtark polymeriſiert iſt, d. h. daß es ein Vielfaches der in der vorſtehenden Formel angegebenen Mengen enthält, ſo daß man vielleicht beſſer die Zelluloſeformel $(C_{12}H_{20}O_{10})_x$ dafür anwendet. Über die Struktur des Zelluloſemolekülſ iſt noch nichts wirklich Sicheres bekannt. Man kann nur ſagen, daß die Kohlenſtoffatome in ihm keinen Kohlenſtoffring bilden, ſondern daß die reihenförmig gruppierten Kohlenſtoffatome durch die Sauerſtoff- und Waſſerſtoffatome gelegentlich zu Ringen geſchloſſen werden.

In der reinſten Form finden wir die Zelluloſe im Baumwollfaden. Gut gereinigte Baumwolle beſteht zu wenigſtens 98 Prozent aus Zelluloſe und beſitzt kaum 2 Prozent erdige Beimengungen, wie eine einfache Verbrennungsprobe dartut. Will man daher im kleinen mit Zelluloſe Verſuche anſtellen, ſo wird man am beſten immer auf reine Baumwolle oder Baumwollwatte zurückgreifen. Für die Zwecke der Praxis iſt dies Material jedoch meiſtens zu teuer, und man nimmt die Zelluloſe dort, wo die Natur ſie billiger bietet.

Das geſchieht nun im Holz und im Stroh, zwei Produkten, die jedenfalls weſentlich wohlfeiler als Baumwolle ſind. Freilich iſt die Zelluloſe in dieſen Stoffen nicht rein enthalten. Sie iſt im Holz durch harzähnliche Stoffe, die ſogenannten Lignine, ſtark verunreinigt, während ſie im Stroh mit Kieſelſäure und kieſelſauren Salzen durchſetzt iſt. Jedes Verfahren der Zelluloſegewinnung aus dieſen Stoffen muß daher darauf gerichtet ſein, dieſe verunreinigenden Beimengungen irgendwie in Löſung zu bringen und die Zelluloſe ſelbſt möglichſt unverändert von dieſem Bade zu trennen.

Die Fabrikation beginnt in jedem Falle mit einer möglichſt weitgehenden mechaniſchen Zerkleinerung der Rohſtoffe. Das Stroh wird auf beſonderen Häckſelmaſchinen zu einem ſehr feinen Häckſel zerſchnitten. Die Holzſtämme werden ſorgſam entrindet (Fig. 113), auf Kreisſägen in kurze, etwa fußlange Stücke zerſchnitten und auf beſonderen Bohrmaſchinen von allen Aſtſtellen befreit (Fig. 114). So vorbereitet kommen die Holzblöcke in die Schleifmaſchinen, in denen ſie, auf ſchnell laufenden Sandſteinen unter kräftiger Beigabe von Waſſer faſerig zerſchliffen, in den ſogenannten Holzſchliff verwandelt werden (Fig. 115). Der Holzſchliff enthält noch nebeneinander Zelluloſefaſern und Ligninkruſten. Er wird vielfach ohne weitere Behandlung zur Herſtellung von Papieren benutzt. Da aber die Lignine unter dem Einfluß von Luft und Licht ſtarke Veränderungen erfahren, insbeſondere dunkel und brüchig werden, ſo erfreuen ſich dieſe Holz- und Strohpapiere eines recht ſchlechten Rufes. Etwas anderes iſt es dagegen mit Papieren aus

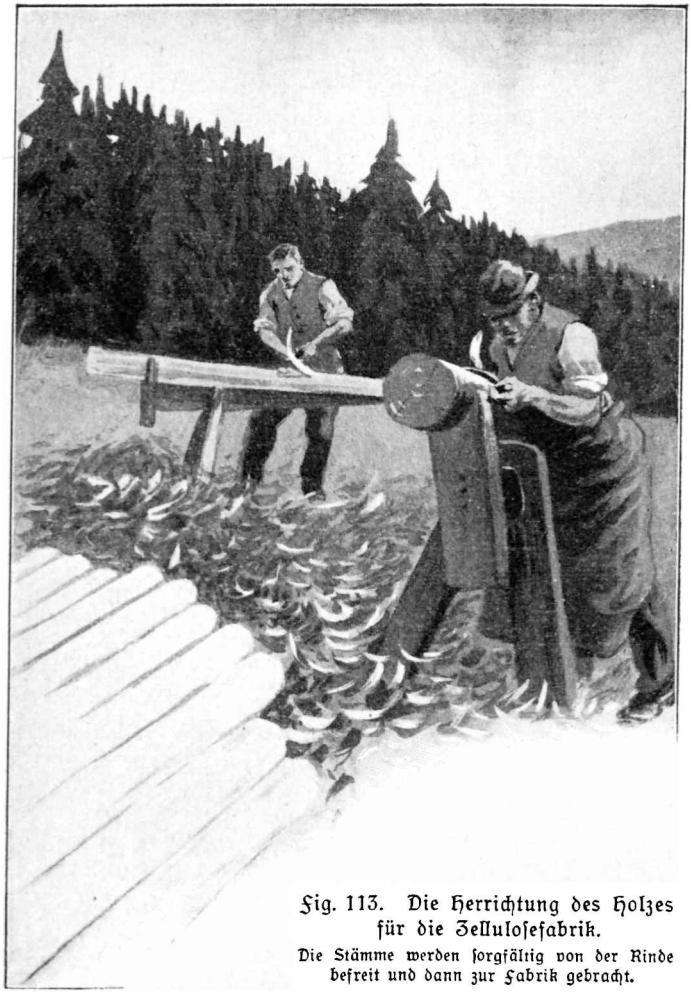


Fig. 113. Die Herrichtung des Holzes für die Zelluloſefabrik.

Die Stämme werden ſorgfältig von der Rinde befreit und dann zur Fabrik gebracht.

reiner Holzzelluloſe. Dieſe ſind den beſten Lumpenpapieren vollkommen ebenbürtig und dürfen nicht mit den Holzſchliffpapieren verwechſelt werden.

Die weitere Verarbeitung des Holzſchliffes oder des fein gehäckſelten Strohs erfolgt nun durch Kochen in druckfeſten Gefäßen, wobei dem Waſſer ſolche Chemikalien zugeſetzt werden, welche die Verunreinigungen löſen und die Zelluloſe ſelbſt nach Möglichkeit unverändert laſſen. Hierbei iſt der Umſtand vorteilhaft, daß Zelluloſe ſelbſt in den meiſten Stoffen nicht löslich iſt. Von den vielen in der Praxis benutzten Stoffen und Verfahren mag hier nur das Sulfitverfahren genannt werden. Die Zelluloſefabrik ſtellt ſich dabei ſelbſt eine möglichſt konzentrierte Sulfitlauge her, indem ſie ſchweflige Säure durch eine Schicht von Kalkſteinen ſtrömen läßt, während dieſe gleichzeitig mit Waſſer berieſelt werden. Dabei treibt die ſchweflige Säure zunächſt die Kohlenſäure aus dem kohlenſauren Kalk und bildet mit ihm neutralen ſchwefligſauren Kalk. Da nun aber ſchweflige Säure SO im Überſchuß vorhanden iſt, ſo geht die Reaktion weiter, und aus dem neutralen, ſchwer löslichen ſchwefligſauren Kalk bildet ſich ſaurer, leicht löslicher ſchwefligſaurer Kalk, der mit dem Waſſer zuſammen die Sulfitlauge ergibt.

Weiterhin wird nun dieſe Sulfitlauge mit dem Holzſchliff zuſammen in den druckfeſten Kocher gebracht, wobei man etwa 2 Kubikmeter Lauge auf 1 Kubikmeter Holzſchliff rechnet. Danach folgt das Kochen, indem man mittels der eingebauten Dampfheizſchlangen den Inhalt des ganzen Kochers möglichſt ſchnell auf eine Temperatur von

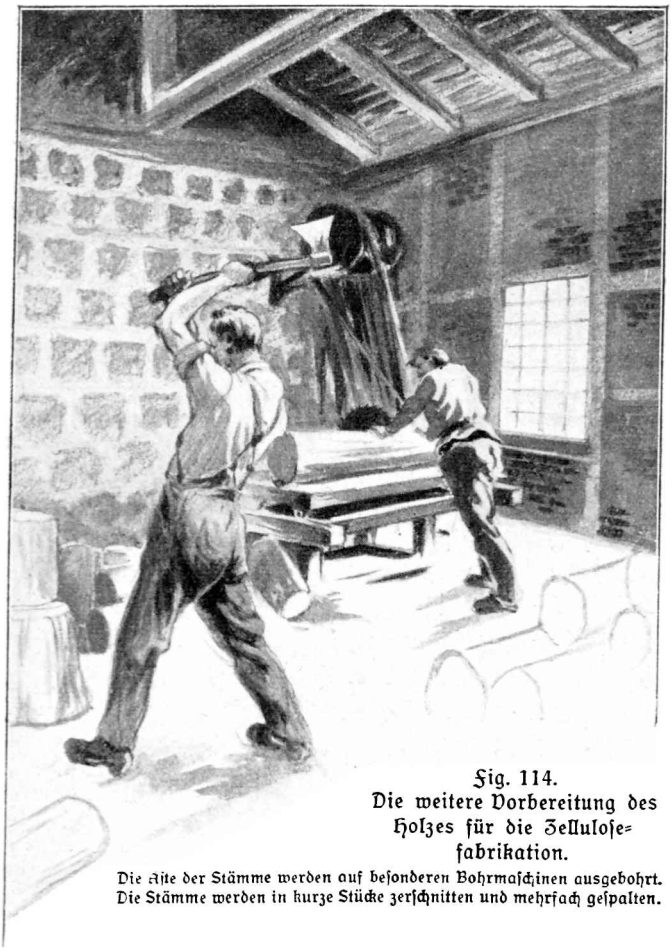


Fig. 114.
Die weitere Vorbereitung des Holzes für die Zelluloſe-fabrikation.

Die Äſte der Stämme werden auf beſonderen Bohrmaſchinen ausgebohrt. Die Stämme werden in kurze Stücke zerſchnitten und mehrfach geſpalten.

110 Grad bringt und dann möglichſt gleichmäßig etwa 12 Stunden hindurch auf dieſer Höhe erhält. Danach erfolgt eine allmähliche Steigerung bis auf 117 Grad, und in etwa 36—48 Stunden iſt die Kochung beendet, d. h. ſämtliche Lignine haben ſich in der Lauge gelöſt, und nur noch reine Zelluloſe iſt in feſter Form vorhanden.

Es folgt die Entleerung des Keſſels, die Trennung der Lauge von der Zelluloſe und eine gründliche Spülung dieſer letzteren, an die ſich eine Durcharbeitung in einem Stampfwerk unter weiterer kräftiger Spülung anſchließt. Nach dieſem Verfahren kann die naſſe, reine Zelluloſe ſofort für die Papierfabrikation verwendet werden. Soll ſie dagegen den Ausgangsſtoff für andere Verfahren und Erzeugniſſe bilden, ſo iſt eine möglichſt ſchnelle und gründliche Trocknung notwendig. Zelluloſe, die man etwa in naſſem Zuſtande längere Zeit lagern läßt, erfährt dieſelben Veränderungen, welche Leinenwäſche bei ſolcher Behandlung erleidet. Sie wird dumpf und ſtockig und iſt infolge der eintretenden chemiſchen Umſetzungen nicht mehr brauchbar. Die reine trockene, aus dem Holz gewonnene Zelluloſe iſt dagegen unbegrenzt haltbar und ein wertvoller Ausgangsſtoff für zahlreiche hochwertige Erzeugniſſe.

Die wohl am längſten bekannte Reaktion der Zelluloſe iſt diejenige mit der Salpeterſäure HNO_3 zu Nitrozelluloſe. Sie geht in der Weiſe vor ſich, daß Waſſerſtoffatome der Zelluloſe durch einwertige Radikale von der Form NO aus der Salpeterſäure erſetzt werden. Geht man von einer Formel $C_{24}H_{40}O_{20}$ für die Zelluloſe aus, ſo ergibt ſich demnach für die Nitrozelluloſe die allgemeine Formel

$C_{24}O_{20}H_{40-n}(NO)_n$. Bis zu welchem Grade die Erſetzung der Waſſerſtoffatome durch die NO-Radikale erfolgt, hängt durchaus von der Art der Nitrierung ab. Bei der ſtärkſten bisher bekannten Nitrozelluloſe ſind 12 Waſſerſtoffatome durch NO-Gruppen erſetzt. Es iſt die Dodekanitrozelluloſe von der Form $C_{24}O_{20}H_{28}(NO)_{12}$, eine äußerſt exploſible Schieß-

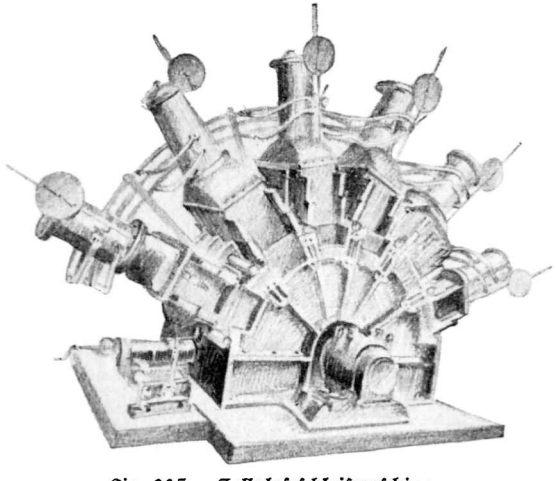


Fig. 115. Zelluloſeſchleifmaſchine.

Die Maſchine beſitzt einen großen durch motoriſche Kraft angetriebenen Schleifſtein (Sandſtein), um den ſtrahlenförmig die einzelnen Holzkammern angeordnet ſind. Die in die Kammern gebrachten Holzb'öcke werden unter gleichzeitiger Zugabe von Waſſer durch kräftige Stahlfedern gegen den rotierenden Stein gepreßt und in feinſte Fäſerchen zerſchliffen.

baumwolle. Für die Fabrikation des Zelluloids, welches für Filmſtreifen, Billardbälle, Wäſche uſw. in großen Mengen verwendet wird, treibt man jedoch die Nitrierung keineswegs ſo weit. Man beſchränkt ſich hier auf die Hexanitrozelluloſe, in welcher 6 Waſſerſtoffatome durch Nitroradikale NO erſetzt ſind, nimmt außerdem Penta- und

Tetranitrozelluloſen, bei denen dies mit 5 bzw. 4 Waſſerſtoffatomen der Fall iſt.

Die Nitrierung erfolgt praktiſch, indem man die möglichſt reine und trockene Zelluloſe in ein Gemiſch von Schwefelſäure und konzentrierter Salpeterſäure HNO_3 eintaucht und die Säure wirken läßt (Fig. 116). Hierbei wirkt die Schwefelſäure hauptſächlich durch ihre Fähigkeit, Waſſer an ſich zu reißen und dadurch der bei fortſchreitendem Nitrierungsprozeß unvermeidlichen Verwäſſerung der Säure entgegenzuwirken. Denn aus dem Salpeterſäurereſt HO_2 und dem aus der Zelluloſe verdrängten Waſſerſtoff H findet ja unter gleichzeitiger Entwicklung von freiem Sauerſtoff eine ſtändige Waſſerbildung ſtatt.

Die Zuſammenſetzung des Salpeterſchwefelſäuregemiſches, die Temperatur des Bades und die Dauer ſeiner Einwirkung ſchwanken. Jede einzelne Fabrik arbeitet hier nach ihren eigenen, im Laufe der Praxis gewonnenen Erfahrungen. Während einzelne die Meinung vertreten, daß die Nitrierung in wenigen Minuten vollendet ſei, fordern andere eine ſtundenlange Einwirkung des Bades.

In der Praxis ſetzt ſich gegenwärtig immer mehr die Nitrierung in Zentrifugen durch. Das Säurebad und die Zelluloſe werden im Behälter einer Zentrifuge zuſammengebracht. Nach genügender Einwirkung der Säuren läßt man zunächſt die überſchüſſige Säure ablaufen, ſetzt dann die Zentrifuge in Betrieb und ſchleudert durch die Zentrifugalkraft auch noch den Reſt des Bades bis auf wenige Volumprozente aus der Nitrozelluloſe (Fig. 117). Es muß nun ein äußerſt intenſives Waſchen der Nitrozelluloſe erfolgen,

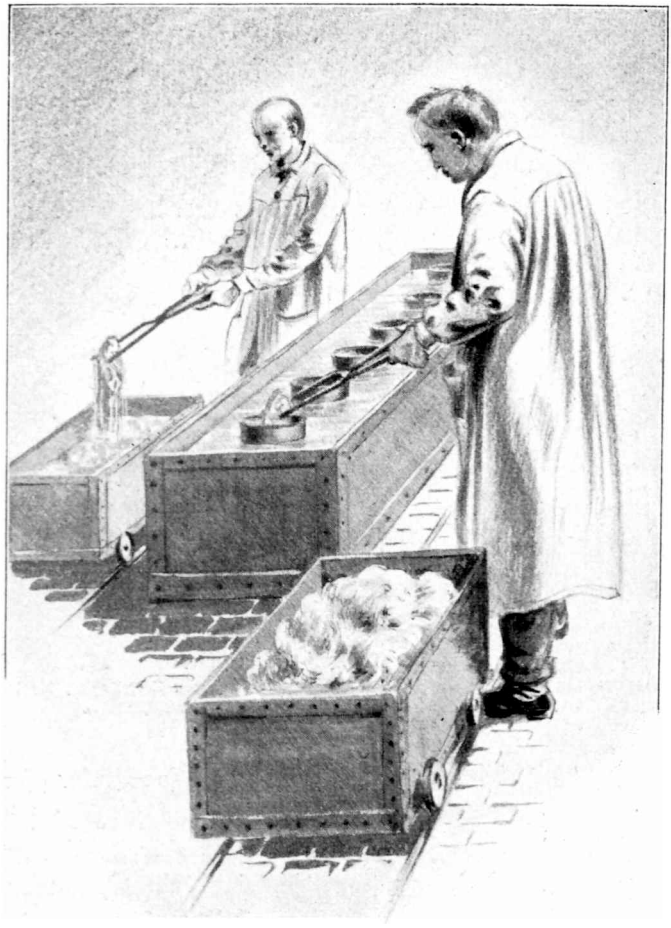


Fig. 116. Die Herstellung der Nitrozellulose.

Reine Zellulose (gereinigter Holzschliff oder fettfreie Baumwolle) wird in ein konzentriertes Bad von Salpeter- und Schwefelsäure gebracht. Nach vollzogener Nitrierung wird die Nitrozellulose sorgfältigst gewaschen, um jede Säurespur zu entfernen.

da auch geringfügige Spuren von freier Säure, die in der Maſſe zurückbleiben, eine ſchnelle Zerſetzung derſelben bewirken.

In der Nitrozelluloſe mit 8—4 Nitrogruppen in jedem Molekül haben wir nun den einen Grundſtoff des Zelluloids. Der zweite muß noch dazu kommen. Es iſt der Kampfer. Seine Gegenwart verrät ſich ja vielfach ſchon durch den ſtarken Kampfergeruch der Zelluloidwäſche. Tatſächlich iſt

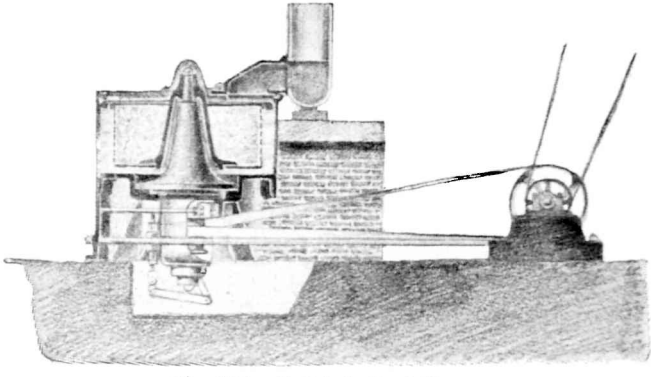
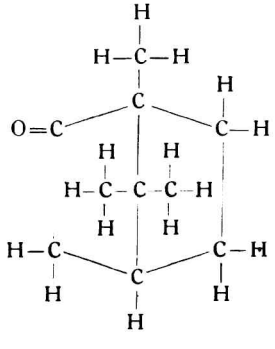


Fig. 117. Zelluloſe-Zentrifuge.
Das Trocknen der Nitrozelluloſe erfolgt in ſchnell laufenden Zentrifugen, die den letzten Tropfen Feuchtigkeit aus der Zelluloſe herausſchleudern.

das Zelluloid eine Miſchung von Nitrozelluloſe und Kampfer, bei welcher die Nitrozelluloſe im Kampfer gelöſt zu ſein ſcheint. Jedenfalls beſitzt dieſe Miſchung oder Verbindung der beiden Stoffe, das Zelluloid, eine Reihe von wertvollen Eigenſchaften, die ſeinen beiden Komponenten fehlen. Es iſt ein ſehr widerſtandsfähiger, wenig biegſamer und faſt unzerreißbarer Körper, der aber beim Erwärmen vorübergehend ſeine Steifheit verliert. In kochendem

Waſſer wird das Zelluloid vollkommen plaſtiſch und kann in Formen gepreßt werden. Auch läßt es ſich bei dieſer Temperatur ſchweißen, d. h. zwei gegeneinander gepreßte Stücke vereinigen ſich dauernd. Dieſen Vorzügen des Zelluloids ſteht leider ſeine große Entflammbarkeit gegenüber. Einmal entzündet, verbrennt es mit loderndem, kaum zu löſchender Flamme. Brände in Filmfabriken haben dieſe Entflammbarkeit nur allzu deutlich gemacht. Trotzdem iſt das Zelluloid ein für unſere heutige Technik kaum entbehrlicher Stoff.

Die zweite Komponente des Zelluloids iſt der Japan-Kampfer von der Form $C_{10}H_{16}O$ und von der Strukturformel

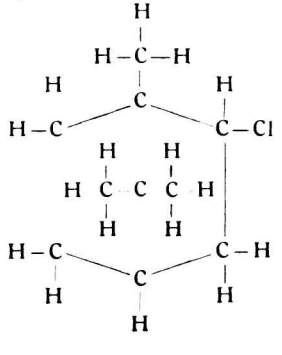


Wie die Strukturformel zeigt, ſind hier zwei fünfgliedrige Kohlenſtoffringe mit je zwei Seiten zuſammengehängt. Die freien Ecken der beiden Ringe tragen je zwei Waſſerſtoffatome bzw. ein Sauerſtoffatom. Außerdem enthält das Kampfermolekül drei einwertige Methylradikale CH_3.

Der natürliche Kampfer iſt ein harzähnliches Erzeugnis des Kampferlorbeerbaums, der hauptſächlich in Japan,

China und auf den Sunda-Inſeln gedeiht. Man gewinnt ihn, indem man das zerkleinerte Holz der Kampferbäume mit Waſſer kocht, bis aller Kampfer auf der Oberfläche ſchwimmt. Nach dem Erkalten des Waſſers erſtarrt er und kann von der Oberfläche abgenommen werden. Der Preis des natürlichen Kampfers iſt ziemlich hoch. Er betrug in den letzten Jahren bis zu 12 Mark für das Kilogramm. Man hat es daher mit gutem Erfolg unternommen, die gewaltigen Kampfermengen, welche die europäiſche Zelluloidinduſtrie jährlich verbraucht, mit Hilfe der Chemie aus billigeren Rohſtoffen zu erzeugen.

Das Ausgangsmaterial dafür iſt das Terpentinöl, welches in großen Mengen aus europäiſchen Nadelhölzern, insbeſondere aus Fichten gewonnen wird. Das Terpentinöl iſt ein reiner Kohlenwaſſerſtoff von der Form $C_{10}H_{16}$ und einer dem Kampfer ähnlichen Struktur aus zwei fünfgliedrigen Kohlenſtoffringen. Durch Behandlung mit trockner gasförmiger Salzſäure geht das Terpentinöl in Pinenchlorhydrat von der Form $C_{10}H_{17}Cl$ und der nachſtehenden Strukturformel



über. Dies Molekül zeigt eine überraschend große Ähnlichkeit mit demjenigen des Japan-Kampfers. Man sieht ohne weiteres, daß es nur noch geringer Veränderungen bedarf, um diesen Molekülbau in denjenigen des Kampfermoleküls zu verwandeln. Es ist nur noch eine Oxydation notwendig, welche die HCl-Gruppe des einen Kohlenstoffatoms durch ein Sauerstoffatom ersetzt. Dies wird in verschiedenster Weise erreicht, und es gibt hierüber eine große Anzahl von Patenten, auf die im einzelnen nicht näher eingegangen werden soll. Es mag die Tatsache genügen, daß das Erzeugnis dieser auf verschiedenen Wegen bewirkten Oxydation des Pinenchlorhydrats ein synthetischer Kampfer ist, der sich als vollkommen identisch mit dem Naturkampfer erwiesen hat und zu einem Preise von 4 Mark für das Kilogramm auf den Markt gebracht werden konnte.

Der Erfolg dieses synthetischen Kampfers bestand zunächst darin, daß die japanische Regierung, die Hauptlieferantin allen Kampfers, ihre hochgeschraubten Monopolpreise von 12 Mark auf 2,50 Mark erniedrigte, um der europäischen Kampferindustrie das Lebenslicht auszublasen. Aber auf die Dauer wird der natürliche Kampfer für diesen Preis nicht zu liefern sein. Im übrigen bedeutet aber auch die Herstellung des synthetischen Kampfers aus einem immerhin so hochwertigen Rohstoff wie dem Terpentinöl noch nicht das letzte Wort in dieser Angelegenheit. Wirklich gelöst dürfte die Frage des synthetischen Kampfers erst dann sein, wenn es gelingt, auch ihn aus der alten schwarzen Teerpütte herauszufischen, ihn aus den Erzeugnissen der

Steinkohlendeſtillation zu erſtellen. Bis dies geſchieht, iſt die Zelluloidinduſtrie indeſſen auf den natürlichen oder den Terpentinkampfer angewieſen.

Es folgt nun die Vereinigung des Kampfers mit der Nitrozelluloſe, die im allgemeinen nach dem Verhältnis von zwei Teilen Nitrozelluloſe auf einen Teil Kampfer erfolgt. Da der Kampfer der bei weitem teurere Beſtandteil iſt, ſuchen manche Fabrikanten den Gehalt an Kampfer hinabzudrücken; aber dies geſchieht ſtets auf Koſten der Güte des Zelluloids. Zur Vereinigung wird der Kampfer zunächſt in hochprozentigem Äthylalkohol aufgelöſt, es wird alſo ein Kampferſpiritus hergeſtellt. Die vollkommen trockene Nitrozelluloſe wird in Miſchmaſchinen unter langſamer Zugabe des Kampferſpiritus durchgearbeitet und dann allmählich erwärmt, während eine Pumpe die Spiritusdämpfe abſaugt. Dieſes Abſaugen ſchreitet in dem gleichen Maße fort, in dem der Kampfer in ſeiner äußerſt feinen Verteilung ſelbſt als Löſungsmittel für die Zelluloſe zu wirken beginnt. Iſt dieſer Vorgang vollendet, ſo iſt auch der größte Teil des Alkohols wieder zurückgewonnen, während nur ein geringer Prozentſatz des Kampfers mit abgeſaugt wurde.

Schon während dieſer Miſchung wird auch die Färbung der Zelluloidware beſorgt. Man unterſcheidet das glasartige, durchſichtige Zelluloid, welches aus feinſter, ſorgfältig gebleichter Nitrozelluloſe und dem beſten, vollkommen klaren Kampfer erzeugt wird, das weiße Zelluloid, welches durch die Beigabe einer geringen Menge chemiſch unwirkſamer Füllſtoffe erzeugt wird, und das gefärbte, mehr oder weniger durchſichtige Zelluloid, welches ſeine Färbung

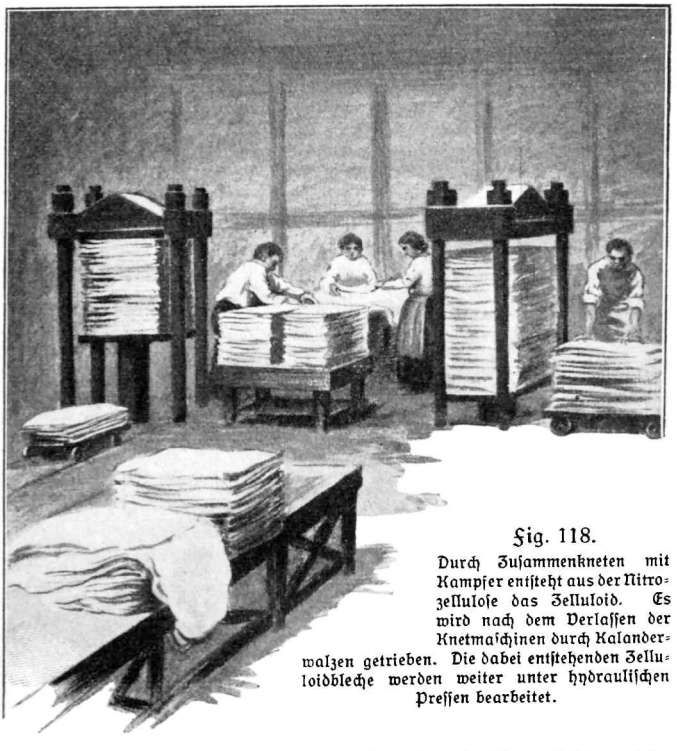


Fig. 118.
Durch Zuſammenkneten mit Kampfer entſteht aus der Nitrozelluloſe das Zelluloid. Es wird nach dem Verlaſſen der Knetmaſchinen durch Kalanderwalzen getrieben. Die dabei entſtehenden Zelluloidbleche werden weiter unter hydrauliſchen Preſſen bearbeitet.

durch die Beigabe geeigneter Teerfarbſtoffe erhält. Ein Erzeugnis für ſich bildet das ſchildpattartige Zelluloid, welches verſchiedenfarbige, ineinander übergehende Partien enthält. Es kann aus den einzelnen, verſchieden gefärbten Zelluloidmengen erſt in dem folgenden Prozeß des Auswalzens oder Kalandrierens hergeſtellt werden.

Nachdem die Maſſe in der Miſchmaſchine vollkommen durchgearbeitet und vom Alkohol befreit worden iſt, kommt

ſie zwiſchen die Walzen, die ſie längere Zeit ſtark durchwalzen. Hierdurch bekommt das Material erſt vollkommene Gleichmäßigkeit und Feſtigkeit. Die zu dünnen Blechen ausgewalzte Maſſe wird hierbei immer wieder zuſammengefaltet, aufeinandergelegt und von neuem geſtreckt. Dabei ſind die Kalanderwalzen mäßig erwärmt, damit das Material ſeine Elaſtizität bewahrt. Während dieſes Walzprozeſſes wird auch das Schildpatt erzeugt. Man geht von einer braunen und von einer transparenten Zelluloidmaſſe aus, die zunächſt auf getrennten Walzen durchgearbeitet und zu Blechen von etwa 5 Millimeter Stärke ausgewalzt werden. Dieſe Bleche werden danach in einzelne Quadrate von etwa 7 Zentimeter Seitenkante geſchnitten. Braune und transparente Quadrate werden danach beſtens gemiſcht, und die Miſchung wird zwiſchen die Walzen eines dritten Kalanders gegeben und hier mehrmals durchgewalzt. Das Ergebnis iſt das bekannte künſtliche Schildpatt.

Mit dieſen Operationen iſt nun der chemiſche Teil der Fabrikation erledigt. Es folgt die weitere Bearbeitung durch Preſſen (Fig. 118), Schneiden, Hobeln, Trocknen, Abrichten und Polieren. Dieſe Fabrikation iſt außerordentlich mannigfaltig. Sie umfaßt Kämme, Hohlkörper aller Art, Wäſcheſtücke, Stempel, künſtliche Gebiſſe, Röhren, Akkumulatorzellen und die mannigfachſten Maſchinenteile, künſtliche Blumen, Filmſtreifen, mediziniſche Geräte und noch tauſend andere Dinge. Es mag hier die eine Zahl genügen, daß die deutſche Filminduſtrie allein jährlich 200000 Kilometer Filmband verarbeitet.

Wir waren bei unſeren Betrachtungen von der Zelluloſe

ausgegangen, hatten dieſe nitriert und durch ihre Löſung im Kampfer das Zelluloid erzeugt. Aber hiermit haben wir erſt einen geringen Teil der heutigen Zelluloſechemie und -induſtrie erſchöpft. Die Möglichkeiten, welche der Rohſtoff Zelluloſe dem Chemiker bietet, ſind ungeheuer, und die Ausnutzung dieſer Möglichkeiten iſt heute auch bereits ziemlich weit gediehen.

Ein Kapitel für ſich bildet die Ausnutzung der reinen Zelluloſe für Nahrungszwecke. Ihrer prozentualen Zuſammenſetzung nach iſt die Zelluloſe ja den anderen Kohlenhydraten Zucker, Stärke und Pflanzengummi beinahe vollkommen identiſch. Sie unterſcheidet ſich in der Hauptſache nur durch geringfügige Strukturänderungen des molekularen Aufbaues. Während nun aber der Magen der Wiederkäuer die Zelluloſe ebenſogut verarbeitet und verdaut wie Zucker und Stärke, iſt ſie für den menſchlichen Magen vollkommen unverdaulich.

Der Gedanke muß nahe liegen, die reine Zelluloſe durch geeignete chemiſche Behandlung ſo zu verwandeln, daß ſie auch für den Menſchen ein hochwertiges Nahrungsmittel bildet. Die Anfänge auf dieſem Gebiete gehen ſchon bis in das vorige Jahrhundert zurück. Man geht dabei im allgemeinen ſo vor, daß man die Zelluloſe in einer Löſung verdünnter Salzſäure unter ſtarkem Druck kocht, wobei je nach der Zeit und der Temperatur ein größerer und geringerer Prozentſatz der Zelluloſe in Dextroſezucker verwandelt wird und in Löſung geht. Man läßt die Löſung aus dem Keſſel ab und neutraliſiert die Salzſäure durch Zuſatz von Soda. So erhält man eine zuckerhaltige Flüſſig-

keit, welche nach Zuſatz von Hefe auf reinen Äthylalkohol vergoren werden kann.

Vor dem Kriege wurden dieſe Verſuche nicht weiter verfolgt, weil die Chemie noch mit der Syntheſe koſtſpieligerer Dinge beſchäftigt war. Wir ſahen bereits beim ſynthetiſchen Kampfer, wie die Produzenten des natürlichen Kampfers ihre Preiſe ganz gewaltig abſenkten, ſobald das künſtliche Erzeugnis ihnen gefährlich zu werden drohte. Auch beim Kautſchuk ereignete ſich etwas Ähnliches. In jedem Falle müſſen diejenigen, welche irgendein Produkt auf chemiſchem Wege zu fabrizieren beabſichtigen, mit der Möglichkeit ſolcher Preisſtürze rechnen. Wenn die Fabrikation bei den augenblicklichen Weltmarktpreiſen auch noch gewinnbringend erſcheint, kann ſie ſchon wenige Monate ſpäter infolge der veränderten Marktverhältniſſe wirtſchaftlich unmöglich ſein.

Aus dieſem Grunde bevorzugt unſere chemiſche Induſtrie die Herſtellung ſolcher Stoffe, die entweder überhaupt nicht in der Natur vorkommen, wie der modernen Farbſtoffe und Arzneimittel, oder aber ſie wählt für ihre Fabrikation Erzeugniſſe, wie zum Beiſpiel die Duftſtoffe oder Gewürze, die unter allen Umſtänden einen ſo hohen Preis halten, daß die ſynthetiſche Darſtellung immer noch einen guten Gewinn abwerfen muß. Dieſer Grundſatz, obwohl wirtſchaftlich verſtändlich, entbehrt doch nicht einer gewiſſen Kurzſichtigkeit. Hätten wir bereits vor dem Weltkriege eine einheimiſche chemiſche Großinduſtrie zur Verarbeitung von Zelluloſe auf Nahrungsmittel beſeſſen, wäre vielleicht manches beſſer gegangen.

Bemerkenswert iſt es immerhin, daß das alte Problem

in letzter Zeit wieder recht aktuell geworden iſt. Bekanntlich laſſen die Nordamerikaner lieber große Mengen des beſten Weizens im eigenen Lande verfaulen, bevor ſie ihn zu einem erſchwinglichen Preiſe an das verarmte und hungernde Europa abgeben. Der deutſche Chemiker Profeſſor Haber, der uns unter anderem durch ſein Ammoniakverfahren vom chileniſchen Salpeter unabhängig machte, nahm daher bei ſeinem letzten Beſuche in Amerika gelegentlich ſeines dortigen Vortrages auch Veranlaſſung zu der Bemerkung, daß er demnächſt aus der deutſchen Zelluloſe einen guten Weizen herſtellen wolle. Dieſe Bemerkung liegt den Amerikanern und ſpeziell den amerikaniſchen Farmern noch heute ſchwer im Magen, und vielleicht wird allein die Furcht vor der deutſchen Chemie in aller Kürze eine ſtarke Ermäßigung der amerikaniſchen Weizenpreiſe bewirken.

Fig. 119. Die lebendige Spinne, das Vorbild der gläſernen Spinne. Aus mehreren Drüſen des Hinterleibes läßt ſie in Form haarfeiner Strahlen einen Saft austreten, der in der Luft ſchnell erhärtet. Bevor er aber alle Klebrigkeit verloren hat, vereinigt die Spinne die einzelnen Fäden mit den Hinterfüßen zu einem ſtärkeren Faden, den wir als Stoff der Spinngewebe kennen.

Es wurde bereits geſagt, daß die chemiſche Induſtrie ſich für ihre Syntheſen aus wirtſchaftlichen Gründen möglichſt teure Objekte ausſucht. Solch teures Objekt iſt aber die gute Geſpinſtfaſer, iſt insbeſondere die Seide. Gelingt es, die Zelluloſe in ſolche Produkte zu verwandeln, ſo hat die Zelluloſechemie damit eine ſehr

dankbare Beſchäftigung gefunden. Wie die wirtſchaftlichen Verhältniſſe hier liegen, geht vielleicht am beſten aus der nachſtehenden Berechnung hervor, die Dr. Max Müller zwar vor dem Weltkriege gab, die aber auch heute in der Hauptſache noch Gültigkeit beſitzt.

1.	Ein Raummeter Holz von 400 bis 500 Kilogramm im Walde hat einen Wert von ..	3 Mark
2.	Es hat an ſeiner Verbrauchsſtelle einen Wert von	6 „
3.	Die aus ihm durch Kochen mit Soda oder Sulfitlauge iſolierten etwa 150 Kilogramm Zellſtoffaſern (15 bis 20 Mark für 100 Kilogramm) haben einen Wert von	30 „
4.	Dieſe, auf der Papiermaſchine zu Papier umgewandelt, haben einen Wert von .	40 bis 50 „
5.	Zu Zellſtoffgarn für Jute- und Baumwollerſatz nach dem Kellner-Türkſchen Naßſpinnverfahren verſponnen, haben ſie einen Wert von	50 bis 100 „
6.	In roßhaarähnliche Form gebracht, haben ſie einen Wert von	1500 „
7.	In künſtliche Seide verwandelt (Viskoſeſeide), haben ſie einen Wert von	3000 „
8.	Als Zelluloſeazetat zu Kunſtſeide verſponnen, haben ſie einen Wert von	5000 „

Die vorſtehenden Ziffern zeigen wohl, daß es ſich lohnt, die Zelluloſe weiter zu veredeln, ihren Wert, wie

die Tabelle erkennen läßt, durch ihre Umwandlung in Geſpinſtfaſern zu verhundertfachen.

Theoretiſch liegt der Weg, den man hier zu gehen hat, vollkommen klar. In unſeren natürlichen Geſpinſtfaſern aus reiner Zelluloſe, dem Baumwoll- und Leinenfaden, ſind die Moleküle des Zellſtoffes beim natürlichen Wachstum der Geſpinſtfaſern ſo angeordnet, daß ſie eben eine feine fortlaufende Faſer von nicht unbeträchtlicher Länge bilden. Dagegen ſtellt die Zelluloſe, die wir etwa nach dem Sulfitverfahren aus dem Holze gewinnen und hernach noch fein mahlen, eine homogene Maſſe ohne jegliche Faſerſtruktur dar. Sie erinnert, um einen Vergleich zu geben, mehr an weißes Mehl als an Baumwolle. Wollen wir dieſem Stoff Faſerſtruktur verleihen, ſo gibt es nur eine Möglichkeit: Wir müſſen ihn in einem geeigneten Löſungsmittel zur Löſung bringen, wir müſſen die ſo enthaltene mehr oder weniger zähflüſſige Löſung durch ſehr feine Austrittsöffnungen hindurch in Fadenform ausſpritzen, und wir müſſen, wenn es irgend möglich iſt, dem geſpritzten Faden das Löſungsmittel wieder entziehen, ſo daß eine reine Zelluloſefaſer zurückbleibt.

Wir arbeiten dann alſo mit dem gleichen Stoff wie die Baumwoll- und Leinpflanze, aber wir benutzen für die Herſtellung des Geſpinſtfadens den Weg der Spinne und Seidenraupe (Fig. 120). Dieſe Tiere ſpinnen ihren Faden bekanntlich in der Weiſe, daß ſie einen Körperſaft, der an der Luft ſofort erſtarrt, aus äußerſt feinen Körperöffnungen heraustreten laſſen. Dieſe Entſtehungsart erklärt den eigenartigen ſeidigen Glanz dieſer Geſpinſte, und die Vermutung

liegt nahe, daß wir etwas Ähnliches, vielleicht ein Mittelding zwiſchen Seide und Baumwolle, erhalten werden, wenn wir Zelluloſe in dieſer Art verarbeiten. Dies iſt freilich nur hinſichtlich der äußerlichen Eigenſchaften gemeint, denn in ihrer chemiſchen Zuſammenſetzung unterſcheidet ſich die natürliche Seide ganz bedeutend von der Kunſtſeide. Die natürliche Seide iſt ein ſtickſtoffhaltiger eiweißähnlicher Körper. Man merkt dies beſonders beim Verbrennen eines ſolchen Seidenfadens, wobei ſich ein ähnlicher Geruch wie beim Verbrennen von Horn und Haaren entwickelt. Die Kunſtſeide hingegen ſoll ja programmäßig nichts anderes als reine Zelluloſe ſein.

Man hat das Problem, aus einfacher Holzzelluloſe gute Geſpinſtfaſern herzuſtellen, auf verſchiedene Weiſe zu löſen verſucht. Es mag gleich vorweggenommen werden, daß eine in jeder Beziehung vollkommene Löſung der Aufgabe bisher noch nicht gelungen iſt, und zwar hängt die Schwierigkeit der Löſung eben mit der Löſung zuſammen.

Die reine Zelluloſe iſt nämlich in allen gewöhnlichen Löſungsmitteln, wie Waſſer, Alkohol, Äther und dergleichen, vollkommen unlöslich. Es gibt eigentlich nur eine einzige Subſtanz, nämlich eine wäßrige Löſung von Kupferoxydammoniak, in welcher reine Zelluloſe ſich, ohne chemiſche Veränderungen zu erleiden, auflöſt. Will man daher auf dies Löſungsmittel verzichten, ſo muß man die Zelluloſe erſt ſelber chemiſch verändern. Man kann ſie etwa nitrieren, wie wir es bereits bei der Herſtellung des Zelluloids beſchrieben haben, und erhält dann eine Nitrozelluloſe, welche beiſpielsweiſe in einem Gemiſch aus Alkohol und Äther

löslich iſt. Eine ſolche Löſung iſt das allgemein bekannte Kollodium der Apotheken. Wir wiſſen, daß dies Kollodium, während Alkohol und Äther verdunſten, ſehr ſchnell erſtarrt. Es wird ja deswegen zum Beſtreichen offener Wunden benutzt, um ſchnell einen luftdichten Verſchluß derſelben zu erhalten.

Preſſen wir nun das Kollodium aus einem Druckgefäß durch die Spitzen feiner Glasröhrchen hinaus, ſo müſſen wir in der Tat ganz ähnlich wie die arbeitende Spinne einen Faden bekommen, der an der Luft ſofort erſtarrt. Aber unſer Faden beſteht noch nicht aus reiner Zelluloſe, ſondern aus Nitrozelluloſe, und wir müſſen tief in ſeine chemiſche Struktur eingreifen, ohne doch die Fadenſtruktur dabei zu zerſtören. Wir müſſen ja der Nitrozelluloſe ihre Stickoxydradikale von der Form NO wieder entreißen und dafür Waſſerſtoffatome ſubſtituieren.

Das geſchieht bei der Kollodiumſeide, indem man eine ganz raffinierte Flüſſigkeit aus Schwefelammonium zuſammenbraut, durch welche die Kollodiumfäden hindurchgezogen werden. Wenn man dabei die Zuſammenſetzung der Flüſſigkeit, ihre Konzentration und die Temperatur glücklich genau abpaßt, ſo findet tatſächlich eine vollſtändige Denitrierung von der gewünſchten Art ſtatt, und man hat einen ſehr ſchön ſeidig glänzenden Faden aus reiner Zelluloſe. Man könnte glauben, eine glückliche Löſung der Aufgabe vor ſich zu haben, wenn das leidige „wenn" nicht wäre. Solange man im Trocknen bleibt, iſt alles in Ordnung. Sowie dieſe Kunſtſeide und die aus ihr gewebten Stoffe, die an Glanz und Farbenpracht die natürliche Seide erheblich

übertreffen, ins Waſſer gebracht werden, dann hört die Herrlichkeit auf. Dann ſinkt die Feſtigkeit der Faſern bis auf den zehnten Teil ihrer Feſtigkeit im trocknen Zuſtande, und die Schönheit iſt dahin.

Leider gilt das zurzeit noch für alle aus der Zelluloſe hergeſtellten Kunſtſeiden, mag es ſich nun um Kollodiumſeiden handeln oder um ſolche, welche direkt aus der in Kupferoxydammoniak gelöſten Zelluloſe gewonnen werden. Bei dieſem zweiten Verfahren treten die aus den feinen Spinndüſen ausgeſpritzten Fäden in ein Bad von verdünnter Schwefelſäure (Fig. 120). Hier findet ſofort eine chemiſche Umſetzung ſtatt. Die Schwefelſäure bildet aus dem Kupferoxydammoniak in Wechſelwirkung ſchwefelſaures Kupfer (Kupfervitriol) und ſchwefelſaures Ammonium. In dem Augenblick aber, da das Löſungsmittel zerſetzt wird, hört naturgemäß auch ſeine löſende Wirkung auf, und die Zelluloſe des Fadens muß ſich in feſter Form ausſcheiden. Zunächſt aber iſt der geſpritzte Faden noch ſo weich und plaſtiſch, daß er ſich unter gleichzeitiger Verdünnung ſtark in die Länge ziehen läßt.

Von dieſer Eigenſchaft macht man nun aber bei der Fabrikation der Ammoniakkunſtſeide ausgiebigen Gebrauch. Während die Fäden von den Spinndüſen her durch das Schwefelſäurebad hindurchlaufen, werden ſie ſtark geſtreckt. Dabei verfährt man im übrigen getreulich nach dem Vorbild der lebendigen Spinne. Dieſe vereinigt die äußerſt feinen, aus zahlreichen Drüſen ihres Leibes austretenden Geſpinſtfäden bekanntlich im erſten Moment, in dem ſie noch nicht völlig erſtarrt, ſondern noch klebrig ſind, mit ihren Krallen

zu einem einzigen Faden. In ähnlicher Weise werden bei der Ammoniakkunstseidefabrikation ein bis zwei Dutzend der aus den Düsen tretenden Fäden unter gleichzeitiger Streckung auf einer gläsernen Haspel verdrallt und aufgewickelt. Es folgt eine sehr gründliche Wasserspülung, durch die jede Spur von Schwefelsäure und von schwefelsauren Salzen aus den Fäden entfernt wird. Nach der Trocknung haben wir eine Kunstseide, welche die Kollodiumseide noch in mancher Beziehung übertrifft. Sie hat nicht nur Struktur und Glanz der Naturseide, sondern auch den bekannten krachenden Griff derselben. Aber leider geht bei einer Durchnässung auch ihre Schönheit und Festigkeit in die Brüche.

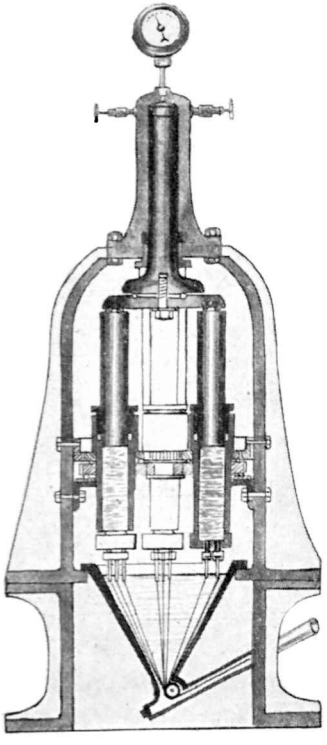


Fig. 120. Die künstliche Spinne.
Man stellt aus der Nitrozellulose künstliche, seidenähnliche Garne her, indem man sie in bestimmten Lösungsmitteln löst und die so entstehende plastische Masse unter hohem Druck aus feinen Düsen austreten läßt. Die frischen Fäden passieren ein Bad, durch welches das Lösungsmittel neutralisiert wird.

Die nach den beschriebenen Verfahren gewonnenen Fäden sind von großer durchlaufender Länge. Sie entsprechen auch in dieser Beziehung

vollkommen den Fäden der Naturseide, die man durch das Abhaspeln der Seidenraupenkokons gewinnt. In den Jahren des Weltkriegs mit seiner großen Faserstoffnot hat man auch ein anderes Verfahren ausgebildet, welches nicht mehr solche langen durchlaufenden Fäden, sondern ein ziemlich kurzes Fadengewirr, die sogenannte Stapelfaser, liefert. Man preßt die gelöste Gelatine nicht mehr durch einzelne Düsen, sondern durch eine Art von Brause, die durchaus der gewöhnlichen Gießkannenbrause ähnelt, in das Bad, welches die Lösungsmittel beseitigt. So entsteht ein Gewirr von Fäden, das nach der Trocknung etwa an die Roßhaarballen unserer Matratzen erinnert und in der Tat auch vielfach als Roßhaarersatz benutzt wird.

Der eigentliche Zweck dieser Fabrikation besteht nun aber darin, daß die Stapelfaser wie ähnliche Gewirre von Naturfasern, also beispielsweise wie die natürliche Baumwolle, auf Kämmaschinen ausgekämmt und in der für diese Naturfasern üblichen Weise versponnen wird. Sobald dies unter Beigabe natürlicher Fasern geschieht, bekommt man Mischgespinste und weiterhin Mischstoffgewebe, welche nun bei weitem nicht mehr so wasserempfindlich sind, wie die reinen Kunsterzeugnisse.

Die Stapelfaserindustrie wurde aus der Not des Krieges geboren. Sie sucht die Schwächen der Kunstfasern durch einen Kompromiß, nämlich die Mischung mit natürlichen Fasern, zu verringern. Auf die Dauer ist das natürlich kein Ausweg. Einstweilen liegen die Dinge so, daß wir nach den vorstehend angedeuteten Verfahren Kunstseiden und Seidenstoffe fabrizieren können, die an äußerlicher Schönheit mit

den edelſten Naturſeiden in Wettbewerb treten können. Für Ballkleider, die man ja im allgemeinen weder dem Regen auszuſetzen noch zu waſchen pflegt, genügt dies. Aber das vollkommene Ideal iſt es noch nicht, und ſo bieten ſich der Zelluloſechemie denn gerade auf dieſem Gebiete der künſtlichen Textilfaſern noch große und lohnende Aufgaben für die Zukunft.

Von Seifen und anderen Waſchmitteln

Dem ziviliſierten Mitteleuropäer des 20. Jahrhunderts iſt die Seife ein vollkommen unentbehrlicher Gebrauchsgegenſtand. Geht man doch geradezu ſo weit, den Kulturzuſtand eines Volkes nach dem Seifenverbrauch zu bewerten. Aber wir dürfen nicht vergeſſen, daß es keineswegs immer ſo war, daß beiſpielsweiſe die doch gewiß hochkultivierten Römer der republikaniſchen Zeit mit ihren wunderbaren Badeeinrichtungen die Seife noch nicht kannten. Sie wurde erſt zur Kaiſerzeit als eine barbariſche Erfindung aus Gallien oder Germanien (Fig. 121) nach Rom eingeführt und kam nur ſehr allmählich dort in Gebrauch. Sowohl die alten Römer wie auch die Griechen hatten keine Seifen, ſondern nur Salben. Sie ſalbten ſich ſowohl vor wie nach dem Bade, und die Gilde der Salbenhändler ſtellte ſowohl in Athen als auch in Rom ein ſtarkes und reiches Gewerbe dar. Wir werden ſpäter unterſuchen, wie ſich die Alten ohne Seife beholfen haben. Einſtweilen wollen wir die Seife unſerer Tage näher betrachten.

Auf die Frage, was Seife ſei, gibt der Chemiker die bündige Antwort, daß ſie ein Alkaliſalz einer Fettſäure ſei. Als Alkalimetalle kommen dabei das Kalium und das Natrium in Betracht. Das erſtere gibt die Kaliſeifen. Es ſind die bekannten weichen Schmierſeifen. Das zweite liefert die feſten Natronſeifen, zu denen insbeſondere alle unſere Toilettenſeifen gehören. Die Fettſäuren ſelbſt, welche mit

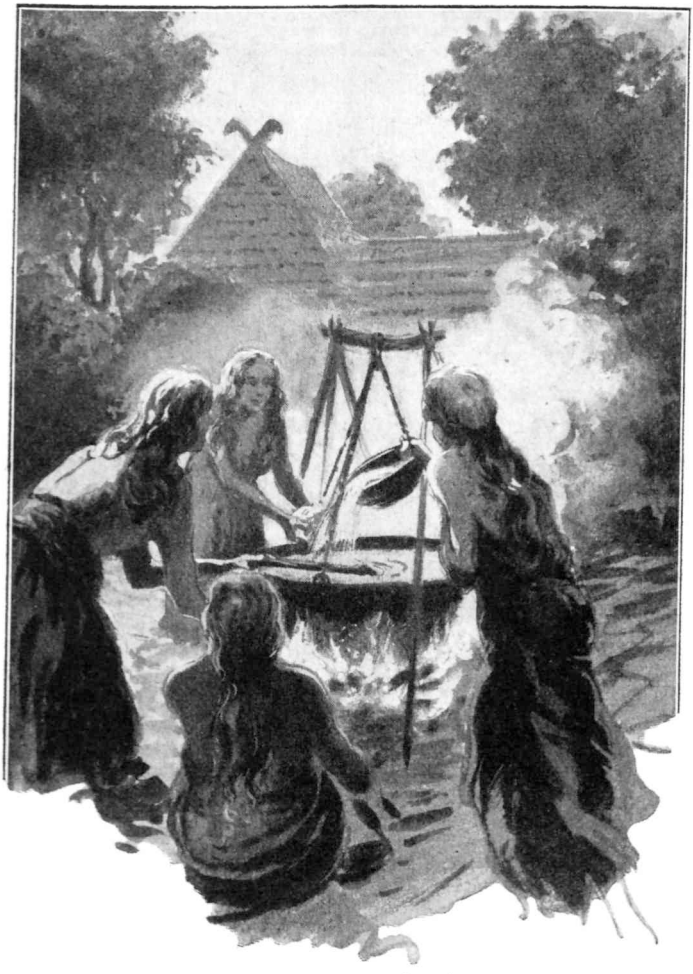
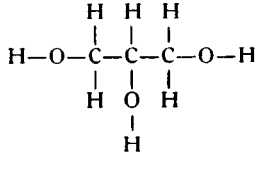


Fig. 121. Seifenherſtellung in alten Zeiten.

Die Seife iſt eine germaniſche Erfindung. Schon Tacitus berichtet, daß die germaniſchen Frauen aus Fett und einer ätzenden Lauge in großen Keſſeln ein beſonderes Waſchmittel herſtellten.

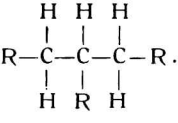
Ätzkali oder Ätznatron bei der Seifenfabrikation zur chemischen Verbindung gezwungen werden, sind je nach der Art des verwandten Fettes ziemlich verschieden. Es liegt auf der Hand, daß man je nach der Art der zu gewinnenden Seifen sehr verschiedene Fettarten benutzen wird, wobei die Billigkeit des Fettes eine ausschlaggebende Rolle spielt. So werden denn in den Seifenfabriken Talg, Palmöl, Kokosöl, Baumöl, Rüböl, Schmalz, Pferdefett und ferner die bei der Fabrikation der Stearinkerzen abfallende Ölsäure auf Seife verarbeitet.

Von allen den hier genannten Stoffen ist nur die Ölsäure von der Form $C_{18}H_{34}O_2$ eine ungesättigte reine Fettsäure. Sie enthält in ihrem Molekül 18 Kohlenstoffatome reihenförmig angeordnet, von denen zwei doppelt gebunden sind. Es bleiben daher 36 freie Valenzen, die durch 33 Wasserstoffatome, 1 Oxylradikal und 1 Sauerstoffatom besetzt sind. In den meisten zur Verseifung verwandten Fetten sind dagegen keine einfachen Fettsäuren enthalten, sondern die Glyzerinester dieser Säuren. Um die molekulare Struktur dieser Verbindungen klarzulegen, müssen wir vom Glyzerin, jenem bekannten süßlichen, flüssigen Stoff, ausgehen, der nach der folgenden Strukturformel aufgebaut ist:



Hier liegen also 3 Kohlenstoffatome in einer Reihe und tragen an ihren 8 freien Valenzen 5 Wasserstoffatome und

3 Hydroxylgruppen von der Form OH. Das Glyzerin ist also, wie bereits in dem Abschnitt von der Kohlenstoffchemie dargelegt wurde, ein dreiwertiger Alkohol der gesättigten Kohlenwasserstoffreihe. Wenn man nun die drei Hydroxylgruppen aus diesem Molekülbau herausnimmt und dafür jedesmal einen Molekülbau einer Fettsäure, die durch Abspalten eines Wasserstoffatoms einwertig gemacht wurde, anhängt, so erhält man den dieser Fettsäure entsprechenden Glyzerinester. Für diese Glyzerinester gilt also die allgemeine Formel $C_3H_5R_3$ und die Strukturformel



Hierin bedeutet R ein einwertiges Fettsäureradikal, d. h. also eine Fettsäure, die durch Entziehung von einem Wasserstoffatom eine freie Valenz bekommen hat und chemisch aktionsfähig geworden ist.

Wie unsere Betrachtungen zeigen, ist der Molekülbau dieser Ester viel komplizierter als derjenige der einfachen Säuren, und es ist daher zu vermuten, daß er bereits mit einfachen chemischen Mitteln gesprengt werden kann. Die Praxis bestätigt diese Vermutung. So wird beispielsweise das Rohmaterial in der Stearinkerzenfabrikation, das Stearin, welches der Glyzerinester der Stearinsäure ist, durch einfaches Kochen mit überhitztem Dampf unter eventueller Beigabe von etwas Kalkmilch oder Schwefelsäure in Stearinsäure und Glyzerin aufgespalten. Aus dem Gemisch dieser Stoffe wird dann die Stearinsäure aus-

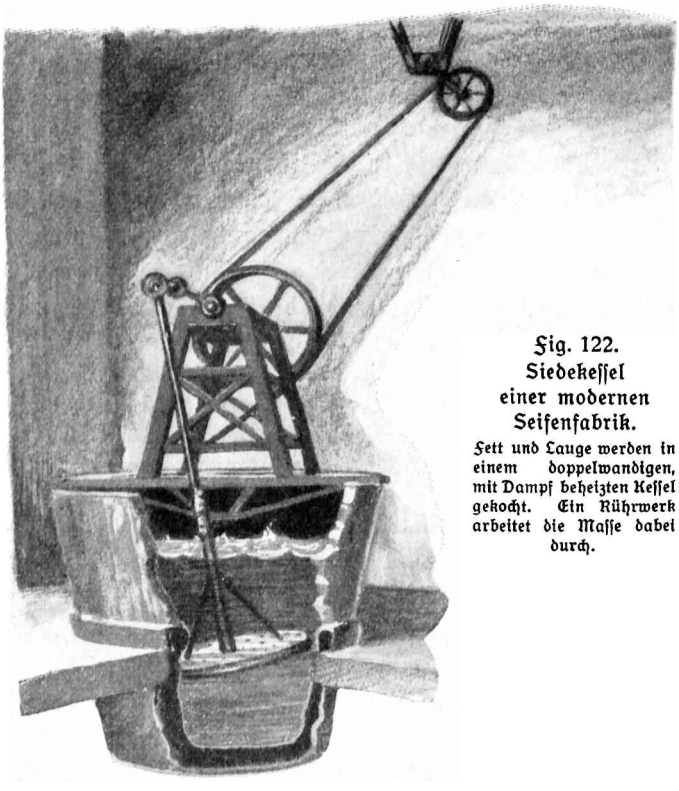


Fig. 122.
Siedekeſſel
einer modernen
Seifenfabrik.

Fett und Lauge werden in einem doppelwandigen, mit Dampf beheizten Keſſel gekocht. Ein Rührwerk arbeitet die Maſſe dabei durch.

geſondert und dient der Fabrikation der bekannten Kerzen, die chemiſch richtig Stearinſäurekerzen heißen müßten.

Auch bei der Seifenfabrikation iſt eine ſolche Zerlegung der in den verarbeiteten Fetten enthaltenen Glyzerineſter in die entſprechenden Fettſäuren erforderlich, und ſie erfolgt während jenes Prozeſſes, den man kurzweg als Seifekochen bezeichnet, ſo nebenbei und vor der eigentlichen

Verseifung. Dieses Seifekochen spielt sich nun in der Weise ab, daß die betreffenden Fette zusammen mit einer Ätznatronlauge oder Ätzkalilauge erhitzt werden.

Dabei findet die Spaltung der Glyzerinester in der beschriebenen Weise statt. Die abgespaltenen Fettsäureradikale treten aber in eine sofortige chemische Wechselwirkung mit dem Ätznatron von der Form NaOH, in dem dies seine Oxylgruppe OH abgibt, die sofort an Stelle des abgestoßenen Säureradikals an den Glyzerinester tritt, während das frei werdende Alkaliatom mit dem Säureradikal ein fettsaures Salz bildet. Je nach der Art der verwandten Fette sind die so entstehenden Seifen verschieden, doch enthalten sie in der Hauptsache immer die Alkaliverbindungen der Fettsäuren mit 16 bis 18 Kohlenstoffatomen, wie beispielsweise der Palmitinsäure, der Stearinsäure und der Oleinsäure.

Es wurde bereits gesagt, daß die Seifenfabrikation eine uralte, wahrscheinlich germanische Erfindung ist. Sie entstand lange vor jeder chemischen Wissenschaft und wurde infolgedessen rein erfahrungsmäßig ausgeübt und weiter entwickelt. Der Seifensieder jener alten Zeiten mußte sich natürlich alles selber bereiten. Er begann mit der Herstellung der Lauge, indem er Holzasche in Wasser auslaugte, die Flüssigkeit von den unlöslichen Rückständen abfiltrierte und in dieser nun das gesamte kohlensaure Kali der Holzasche hatte. Er mischte diese Lauge mit frischer Kalkmilch, einer Lösung von Ätzkalk in Wasser, und hierbei trat eine Wechselwirkung ein, indem sich das kohlensaure Kali in Ätzkali verwandelte, während der Ätzkalk in kohlensauren Kalk überging, der in Wasser beinahe unlöslich ist

und sich sofort niederschlug. So hatte der Seifensieder in der von dem Niederschlag abgegossenen Flüssigkeit eine reine Ätzkalilösung, mit der er nun aus allerlei Fett seine Seife kochen konnte. Aber diese Seife konnte naturgemäß immer nur eine Kaliseife, also eine Schmierseife, werden.

Die Geschichte hat uns leider nicht überliefert, wer nun in jenen längst vergangenen Jahren die geniale Erfindung des Aussalzens gemacht hat. Vielleicht war hier, wie so oft, der Zufall der Erfinder. Gießt man nämlich in die noch heiße Kaliseifenlösung eine konzentrierte Lösung von Kochsalz, also von Chlornatrium ClNa, so setzt wiederum eine chemische Wechselwirkung ein. Das Kochsalz spaltet sich, und sein Natriumatom verdrängt das Kaliumatom aus der Schmierseife, macht diese also zu einer harten Natronlauge, während das ausgetriebene Kaliumatom sich mit dem Chlorrest des Kochsalzes zu Chlorkali verbindet. So haben wir also nach dem Aussalzen eine in Wasser sehr viel schwerer lösliche Natronseife, die obenauf schwimmt und bei weitergehender Abkühlung sehr bald erstarrt, während sich darunter eine glyzerinhaltige Chlorkalilösung befindet. Diese Methode, erst eine Kaliseife zu kochen und dann auszusalzen, ist noch bis in unser Jahrhundert hinein allgemein geübt worden. Erst in neuerer Zeit kocht man die Natronseifen direkt, indem man von Anfang an mit einer Ätznatronlauge arbeitet (Fig. 122).

Die Seifensiederkunst hat sich erfahrungsmäßig entwickelt, und sie ist auch heute trotz aller chemischen Wissenschaft noch stark auf Erfahrungswerte angewiesen. Man kann ja selbstverständlich genau berechnen, wieviel Gewichts-

teile Ätznatron oder Ätzkali man für die Verſeifung beſtimmter Gewichtsmengen von Palmitineſtern, Stearineſtern uſw. benötigt, aber man weiß niemals genau, wieviel

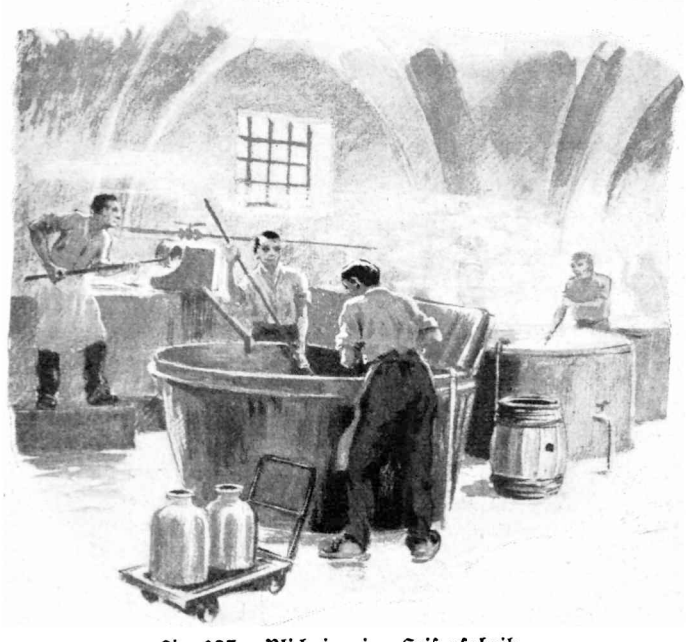


Fig. 123. Blick in eine Seifenfabrik.
In verſchiedenen Bottichen werden verſchiedene Seifenarten in großem Maßſtabe hergeſtellt. Die Fabrikation geſtaltet ſich ſo wohlfeil, daß heute kaum noch eine Hausfrau ſelbſt Seife kocht.

von dieſen Stoffen wirklich in den zu verkochenden Fetten vorhanden ſind. Man kann zu wenig Ätzkali nehmen, und dann bleiben unverſeifte Fettſäuren in dem Seifenkörper zurück. Oder aber man nimmt zuviel Ätzkali, und dann hat man einen Überſchuß von freiem Ätznatron in der Seife.

Das Ideal, daß alles Fett verseift ist und keine Spur von Ätznatron frei bleibt, wird man niemals genau erreichen können. In der Praxis muß man daher von den beiden anderen Möglichkeiten diejenige wählen, die das kleinere Übel bedeutet, man muß die Mischung so treffen, daß noch ein geringer Prozentsatz unverseifter Fettsäure im Seifenkörper vorhanden ist. Denn eine Seife, in der noch freies Ätznatron bzw. Kali vorhanden ist, wirkt auf die menschliche Haut ätzend und schädigend. Bei billigen, schlechten Seifen kommt es leider bisweilen vor, und die Folgen sind für denjenigen, der solche Seife benutzt, recht unangenehm. Die Haut wird brüchig und rissig, und der Teint verliert sein Ansehen.

Die Seife ist nicht nur eine rein empirische Erfindung, auch die Theorie ihrer Wirkung wurde erst einigermaßen geklärt, nachdem sie schon Jahrtausende in Gebrauch war. Vollkommen klar ist diese Theorie auch heute noch nicht. Man meint, daß die Seife bei der starken Wasserverdünnung, die sie bei der Benutzung erfährt, wiederum eine chemische Umsetzung erleidet. Es bildet sich dann nämlich ein unlösliches, saures, fettsaures Alkali, welches vornehmlich die Schaum- und Flockenbildung verursacht, während andererseits ein basisches Alkalifettsalz entsteht, welches leicht löslich ist, gelöst bleibt und auch lösend auf den Schmutz wirkt, der ja meist durch das Hautfett an die Haut gebunden ist. Dieser Schmutz wird also gelöst, bei der Prozedur des Waschens von der Haut abgerieben und an die Schaumflocken gebracht, von denen er eingehüllt und mitgenommen wird.

Diese Theorie, die auch für das Waschen von Wäsche

gilt, erklärt die Dinge immer noch am beſten. Verblüffend iſt ja in der Tat die Reinigungskraft der zu Schaum geſchlagenen Seifenlöſung. Sie wirkt in gleicher Weiſe auf fettige wie auf waſſerlösliche Verunreinigungen,

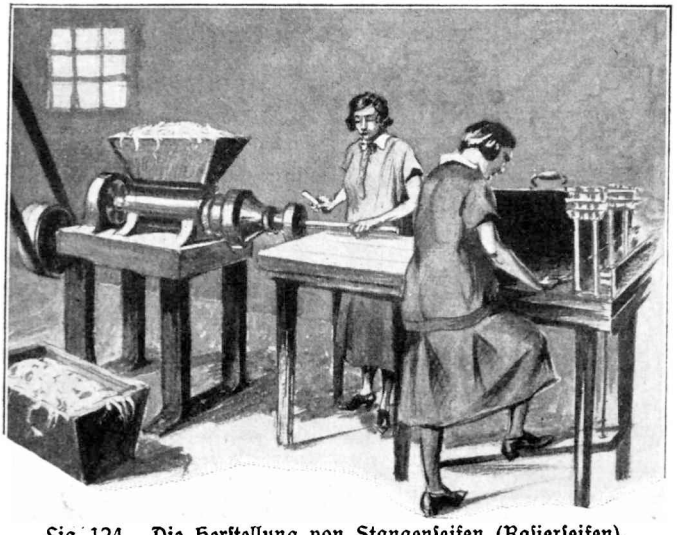


Fig. 124. Die Herſtellung von Stangenſeifen (Raſierſeifen).
Eine Maſchine preßt die Seifenmaſſe in Form einer gleichmäßigen Stange aus einer Düſe heraus. Eine Drahtſäge ſchneidet gleichlange Stücke von der endloſen Stange ab, die danach für die Verpackung fertig ſind.

und dieſe doppelte Wirkung hat vielleicht ihre große Verbreitung verurſacht.

Die Frage taucht nun auf, womit ſich denn die Kulturvölker des Altertums gereinigt haben mögen, bevor die Seife ihren Siegeszug antrat. Die einfache Vermutung, daß ſie ſich überhaupt nicht gewaſchen haben, die man im Hinblick auf die heutige, oft unmenſchliche Schmutzerei

mancher Mittelmeervölker aufſtellen könnte, iſt nicht haltbar. Angeſichts der heute noch erhaltenen wundervollen antiken Badeeinrichtungen müſſen wir den Völkern des klaſſiſchen Altertums vielmehr eine ungewöhnlich hohe Körperkultur zugeſtehen.

Aber wie haben ſie ſich gewaſchen? Daß eine einfache Waſchung mit Waſſer faſt unwirkſam iſt, iſt ſicher. Auch die großartigſten Badeeinrichtungen mit kalten und warmen Baſſins können daran nichts ändern. Von der Zuſammenſetzung der antiken Salben wiſſen wir aber leider ſo gut wie nichts. Wir leſen nur in Schriften von Plinius, daß dieſe Salben etwas ganz anderes geweſen ſein müſſen als die germaniſche Seife. Von dieſer letzteren ſpricht er geradezu als Heilmittel. Wir wiſſen aber, daß ſich die antiken Ringkämpfer von oben bis unten ganz gehörig mit Olivenöl einfetteten, damit der Gegner ſie infolge der fettigen Glätte möglichſt ſchlecht greifen und halten konnte. Wie dieſe Einfettung aber ohne Seife wieder beſeitigt werden ſollte, war noch bis vor wenigen Jahren ein vollſtändiges Rätſel.

Wir verdanken die Entſchleierung des ſolange verlorengegangenen Geheimniſſes dem deutſchen Erfinder R. Fiedler, der unter anderem auch das alte griechiſche Feuer wiederentdeckt hat. Fiedler hatte viel in Rumänien, jener alten römiſchen Militärkolonie, zu tun, in der ſich die alte italiſche Raſſe in guter Reinheit durch alle Stürme der Völkerwanderung und des Mittelalters hindurch erhalten hat. Es fiel ihm auf, daß gerade in den abgelegenen, von den Errungenſchaften der neueren Kultur noch wenig erreichten Gegenden die Bevölkerung und namentlich die Mädchen

und Frauen ſich durch einen wundervollen Teint und eine bis ins Alter hinein glatte und runzelfreie Haut auszeichneten. Es war ihm nicht leicht, hinter die Geheimniſſe dieſer Dorfſchönen zu kommen; aber in gegenſeitigem Austauſch, indem er ihnen etwas von den Wirkungen des griechiſchen Feuers zeigte, gelang es ſchließlich doch.

Es gibt dort gewiſſermaßen zwei Schulen oder Obſervanzen. Die Anhänger der ſtrengen Obſervanz bringen überhaupt zeitlebens keine Seife an ihren Körper. Die Jünger der leichteren Obſervanz geſtatten zwar den gelegentlichen Gebrauch einer milden und von allen Ätzalkalien gänzlich freien Seife, aber immer unter der Vorausſetzung, daß daneben und hauptſächlich jene alte römiſche Salbe benutzt wird, auf die wir im folgenden näher eingehen werden.

Das Rezept zu dieſer Salbe iſt einfach, denn ſie wird aus den Naturerzeugniſſen des Landes gewonnen. Es ſind Mandeln und Oliven, aus denen ſie beſteht. Eine beſtimmte Portion ſüßer und bitterer Mandeln — hier wie in allem Folgenden ſpielen alte Erfahrungsmengen eine Rolle — werden geſchält und dann in einer polierten Steinſchale mit einem gleichfalls polierten Stempel zu einem möglichſt feinen Brei zerrieben (Fig. 125). Weiterhin wird eine Anzahl ſorgſam ausgeſuchter, vollkommen fleckenfreier und eben reifer Olivenfrüchte entkernt und dann in einer anderen Schale ebenſo zerrieben. Dieſe beiden Paſten werden innigſt vermengt, und damit haben wir die altrömiſche, heute noch in Rumänien gebräuchliche „Salbe". Sie wird zur Aufbewahrung in kleine Tiegel aus Ton oder

Porzellan eingedrückt und durch übergebundenes Pergamentpapier geschützt.

Der Gebrauch dieser Salbe erfolgt nun in der Weise, daß alle Körperstellen, die man eben zu waschen und bei uns mit Seife zu behandeln pflegt, mit dieser Salbe eingerieben werden. Danach aber findet eine kräftige Massage der eingesalbten Partien mit den Fingerspitzen statt, die sich ebenfalls von der bei uns üblichen Massage unterscheidet. Es ist nämlich kein geradliniges Streichen, sondern eine Kreisbewegung, indem die Fingerspitzen unter ziemlichem Druck in kreisförmigen Bahnen über die Haut geführt werden (Fig. 126). Während dieser Massage zieht ein bemerkenswerter Teil der Salbe in die Haut ein, wird von den Gefäßen derselben tatsächlich aufgesogen. Immerhin bleibt ein gewisser Fetthauch zurück, der nun wiederum ganz eigenartig beseitigt wird. Die Rumäninnen jener Dörfer, soweit sie der strengen Observanz angehören, benutzen dazu nicht etwa Wasser und Seife, sondern feine trockene Mandelkleie, mit der sie die Haut weiterreiben und massieren, bis die feinen Häutchen der Kleie die Salbe völlig aufgesogen haben und die bearbeiteten Hautstellen auch keine Spur von Fettglanz mehr aufweisen.

Was enthält denn nun diese geheimnisvolle Salbe an chemischen Bestandteilen? Die zum Brei verriebenen Mandeln bestehen zu rund 50 Prozent aus Mandelöl, einem blaßgelben, geruchlosen, dünnflüssigen Öl. In ähnlicher Weise enthält der Olivenbrei in ungefähr gleicher Menge das feinste weiße Olivenöl. Hauptbestandteile der Salbe sind also diese beiden feinen Pflanzenöle. Aber diese

Fig. 125.
Seifenerſatz.
Die Herſtellung der rumäniſchen Schönheitspaſte aus friſchen Mandeln und Oliven. Die Früchte werden in einem Mörſer zu einer Emulſion zerrieben.

befinden ſich nicht in kompaktem Zuſtande darin, ſo wie man reines Mandelöl oder Olivenöl durch Auspreſſen von Mandeln oder Oliven gewinnen kann. Sie behalten bei der Zerreibung der Früchte vielmehr jenen eigenartigen Zuſtand, in dem ſie in den Früchten vorhanden ſind, und den der Chemiker als Emulſion bezeichnet. Eine Emulſion bedeutet eine äußerſt feine, faſt molekulare Verteilung eines Stoffes in einem anderen. Sie unterſcheidet ſich von einer Löſung

eben dadurch, daß keiner der beiden Stoffe den anderen zu löſen vermag.

Wir haben das bekannteſte praktiſche Beiſpiel einer Emulſion in den lichtempfindlichen Schichten unſerer photographiſchen Trockenplatten. Dieſe Schichten beſtehen aus einer Bromſilberemulſion in Gelatine. Sie werden in der Weiſe hergeſtellt, daß man zwei getrennte heiße Gelatinelöſungen anſetzt, die ſo viel Gelatine enthalten, daß ſie im kalten Zuſtande erſtarren. Der einen Löſung fügt man ſalpeterſaures Silber, der anderen Bromammonium zu. Dieſe beiden Chemikalien gehen dabei wirklich in Löſung, d. h. ihre Moleküle verteilen ſich vollkommen gleichmäßig im Geſamtvolumen der löſenden Flüſſigkeit. Iſt dies geſchehen, ſo gießt man die beiden Löſungen zuſammen und ſorgt durch kräftiges Verrühren für eine vollkommene gegenſeitige Durchdringung.

Nun ſetzt zwiſchen den beiden Chemikalien eine Wechſelwirkung ein. Das Silber des Silbernitrats von der Form $AgNO_3$ verbindet ſich mit dem Brom des Bromammoniums von der Form $BrNH_4$ zu unlöslichem Bromſilber, während die dabei frei werdenden Reſte der beiden Verbindungen das waſſerlösliche Ammoniumnitrat bilden. Dadurch bekommen wir alſo eine molekulare Verteilung des Bromſilbers in der Gelatine. Es folgt nun ein weiteres Kochen dieſer Löſung, welches natürlich ebenſo wie das Zuſammengießen der beiden urſprünglichen Löſungen in der Dunkelkammer vonſtatten gehen muß. Bei dieſem Kochen vereinigen ſich die Bromſilbermoleküle, die zunächſt vollkommen gleichmäßig molekular in der Gelatine verteilt ſind, zu ein-

zelnen, etwas größeren Gruppen. Man ſagt, die Emulſion koaguliert, ſie wird grobkörniger.

Der Photograph bezeichnet dies Kochen wohl auch als Reifen der Maſſe, weil dabei die Lichtempfindlichkeit ſteigt. Je größer das Korn einer Trockenplatte, deſto größer auch ihre Lichtempfindlichkeit. Man läßt danach die Gelatine erſtarren, ſchneidet ſie in kleine Brocken und ſpült dieſe mit reinem Waſſer ſehr gründlich nach. Dabei geht das Ammoniumnitrat infolge ſeiner Löslichkeit in das Spülwaſſer über, und es bleibt eine reine Bromſilberemulſion in der Gelatine zurück, die nun noch einmal geſchmolzen und auf die Glasplatten vergoſſen wird.

Eine ſolche Emulſion haben wir nun auch in den Früchten und den aus ihnen geriebenen Paſten der rumäniſchen Salbe. In dem Olivenbrei befindet ſich das Olivenöl in Emulſion mit dem Gewebe der Olivenfrucht, welches Waſſer, mancherlei Salze und Zellſtoffe, beſonders aber jene rätſelhaften und erſt in neueſter Zeit wenigſtens in ihren Wirkungen erkannten Vitamine oder Lebensſtoffe enthält. In gleicher Weiſe iſt das Öl des Mandelbreies mit Zellen, Salzen und Vitaminen der Mandelfrucht emulgiert. Dieſer Zuſtand wird auch durch die Vermiſchung der beiden Fruchtpaſten zu einer Salbe nicht verändert. Bei der Behandlung der Haut mit dieſer Salbe wirken daher nicht nur die beiden reinen Pflanzenöle auf das menſchliche Zellgewebe, ſondern weiterhin auch jene Vitamine der Fruchtkörper. Wenn auch die Wirkung dieſer Lebensſtoffe noch wenig erforſcht iſt, ſo ſprechen doch die praktiſchen Erfolge mit der rumäniſchen Salbe dafür, daß man es hier

mit etwas weit Wirksamerem zu tun hat, als mit einer einfachen Öleinreibung.

Der Vergleich der beiden Verfahren: Hie Seife, hie Salbe, fällt leider stark zuungunsten der Seife aus. Für diese werden pflanzliche und tierische Fette von teilweise recht unsauberer Herkunft verarbeitet, während wir in der Salbe zwei der reinsten und edelsten Pflanzenöle haben. Bei der Seifenfabrikation zwingen wir dann weiter die Fettsäuren zu einer ziemlich gewaltsamen Ehe mit Ätzalkalien, die allein durchaus geeignet sind, die menschliche Haut unter Schmerzen zu zerfressen und zu zerstören, und von denen nur allzu häufig freie Mengen in der fertigen Seife zurückbleiben.

Im Gegensatz dazu enthält die Salbe keinerlei derartige ätzende Bestandteile, sondern nur die organischen Stoffe ausgesuchter Früchte. Eine dunkle Erinnerung an diese altrömische Salbe mag vielleicht noch in unserer Mandelseife nachklingen. Aber was ist diese Seife? Fettsaures Natron, genau so wie alle übrigen festen Seifen, und lediglich durch eine organische Verbindung der Benzolgruppe, durch das Benzaldehyd, parfümiert, welches zufälligerweise den Geruch bitterer Mandeln besitzt. Aber das Benzaldehyd von der Form $C_6H_5 \cdot CHO$ kommt weder in bitteren, noch in süßen Mandeln vor. Es kann nur aus einem wesentlich komplizierteren Körper dieser Früchte, dem Amygdalin von der Form $C_{20}H_{27}NO_{11}$, künstlich hergestellt werden. Unsere Mandelseife hat also mit Mandeln herzlich wenig zu tun, und noch viel weniger mit jener rumänischen Mandelsalbe.

Fig. 126.
Geſichtsmaſſage
bei Benutzung
der Schönheitspaſte.
Die mit der Paſte eingefettete Geſichtshaut wird mit den Fingerſpitzen in eigenartigen Kreisbewegungen maſſiert.

Einſtweilen herrſcht in Europa unumſchränkt die Seife. Aber nachdem lange verlorene Rezepte der hochkultivierten antiken Völker nun wieder entdeckt wurden, nachdem wir in Sport und Leibespflege heute mehr denn je jenen antiken Vorbildern nachzueifern beginnen, kann es wohl ſein, daß auch die Periode der Seife einmal ihr Ende erreicht und eine neue Ära der Salbe anbricht.

Etwas Gärungschemie

In der Bibel wird uns berichtet, wie der Erzvater Noah nach überſtandener Sintflut den Weinſtock anpflanzte, die Trauben kelterte, den Traubenſaft vergären ließ, davon trank und äußerſt luſtig wurde (Fig. 127). Das war die Erfindung des Weinbaues und gleichzeitig diejenige der älteſten Gärungsinduſtrie. Was war hier geſchehen?

Die reife ſüße Weinbeere enthält in beträchtlicher Menge den Traubenzucker von der Form $C_6H_{12}O_6$. Die genauere chemiſche Konſtitution des Traubenzuckers iſt noch nicht erforſcht. Man hat aber wohl Grund zu der Annahme, daß die Kohlenſtoffatome ſeines Moleküls nicht ringförmig, ſondern reihenförmig angeordnet ſind. Nach dem, was in dem Abſchnitt von der Kohlenſtoffchemie über Alkohole geſagt war, kann man den Traubenzucker auch als einen fünfwertigen Alkohol auffaſſen, da aus ſeinem Verhalten hervorgeht, daß ſein Molekül fünf Oxylgruppen von der Form OH enthalten muß.

Der friſch gepreßte Traubenſaft oder Moſt iſt alſo in der Hauptſache eine wäßrige Löſung von Traubenzucker. Außerdem enthält der Moſt noch eine ganze Reihe verſchiedener Fruchtſäuren und verſchiedener ätheriſcher Öle, deren Zahl und Art von der Art der gekelterten Trauben abhängt und ſtark wechſeln kann. Dieſer ſüße Saft iſt nun weiter infolge der Art ſeiner Gewinnung mit beſtimmten Lebeweſen kleinſter Art, den ſogenannten Hefepilzen, durchſetzt. Dieſe Spaltpilze bzw. ihre Dauerſporen hauſen eigen-

artigerweise gerade auf den Schalen der Weinbeeren in dem auf diesen Schalen befindlichen Reif oder Hauch. Bei der Kelterung geraten die Schalen notwendigerweise in den Most, und ein Teil der darauf befindlichen Hefe wird dabei abgespült und bleibt im Most, nachdem die Schalen oder Treber von diesem abgefiltert worden sind.

Fig. 127. Erzvater Noah, nach der biblischen Überlieferung der erste Winzer.
Erstes Buch Moses, Kapitel 9: Noah aber fing an und ward ein Ackermann und pflanzte Weinberge. Und da er von dem Wein trank, ward er trunken und lag in der Hütte.

In der Traubenzuckerlösung, die für die Hefepilze einen vorzüglichen Nährboden abzugeben scheint, entwickeln diese nun eine sehr rege Lebenstätigkeit. Wie der Name Spaltpilz besagt, spalten sich die einzelnen Hefezellen fortwährend in neue Zellen, die in kurzer Zeit heranwachsen und das Spaltungsgeschäft fortsetzen. Die Hefe vermehrt sich also stark, und gleichzeitig mit dieser Vermehrung geht eine eigenartige Zerlegung des Traubenzuckers, die wir eben als Gärung bezeichnen, vor sich. Ein Molekül Traubenzucker von der Form $C_6H_{12}O_6$ spaltet sich in zwei Moleküle Äthylalkohol von der Form C_2H_5OH und zwei Moleküle Kohlensäure von der Form CO_2.

$$\begin{aligned} & 2(C_2H_5OH) \\ & +2(CO_2) \\ \hline & =2(C_3H_6O_3)=C_6H_{12}O_6\,. \end{aligned}$$

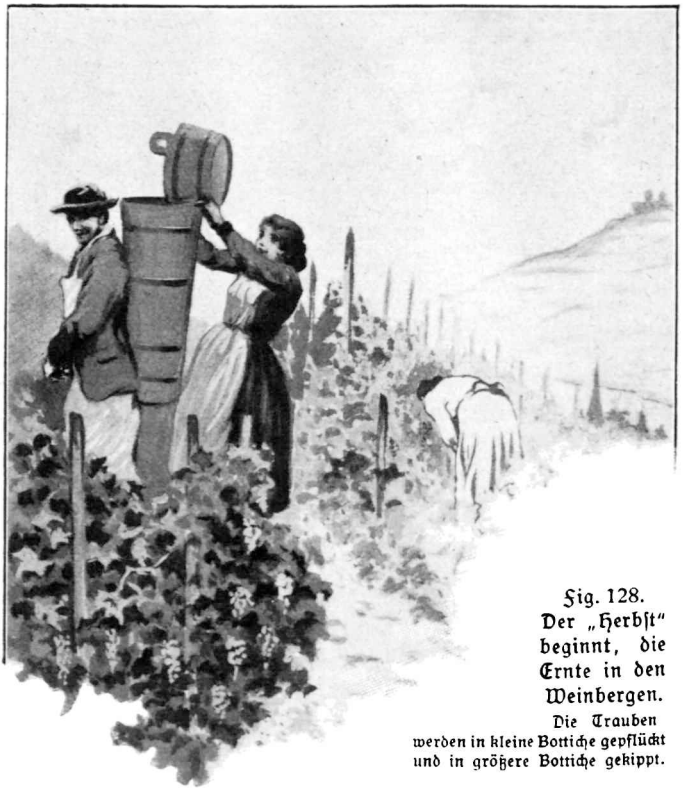


Fig. 128.
Der „Herbſt" beginnt, die Ernte in den Weinbergen.
Die Trauben werden in kleine Bottiche gepflückt und in größere Bottiche gekippt.

Wie die vorſtehenden Formeln zeigen, geht dieſe Zerlegung glatt auf. Es bleibt dabei nichts übrig. Die neuen Hefemengen, welche bei der Gärung entſtehen, müſſen daher ihre Körper aus irgend etwas anderem aufbauen. Lange Zeit hat man die Meinung vertreten, als ob Alkohol und Kohlenſäure doch die Stoffwechſelprodukte dieſer kleinſten

Lebeweſen wären, als ob die Hefepilze ſozuſagen den Traubenzucker fräßen und in ſeine Beſtandteile Äthylalkohol und Kohlenſäure zerlegten, die dann wieder ausgeſchieden würden. Aber dieſe Theorie iſt durch das Experiment widerlegt worden.

Man hat eine gewiſſe Menge Weinhefe im Porzellanmörſer zur feinſten Feinheit zerrieben, ſo daß hier ſchon kaum noch eine unverſehrte Pilzzelle vorhanden ſein konnte. Man hat dieſe Hefepaſte danach durch eine Platte aus hartgebranntem Porzellan unter hohem Druck gefiltert, wobei nur der Zellſaft der Hefepilze durch die Filterplatte hindurch konnte, während die zerriebenen Zellhäute und etwaige noch unverſehrte Hefepilze ſicher zurückgehalten wurden. Man hat den ſo gewonnenen Hefeſaft dann einer zuverläſſig vollkommen keimfreien Traubenzuckerlöſung zugeſetzt und dieſelben Gärungsvorgänge beobachtet, wie bei der Verwendung lebender und ſich vermehrender Hefe.

Seit dieſen Verſuchen nimmt man an, daß der Gärungsprozeß mit den eigentlichen Lebensvorgängen, insbeſondere mit der Vermehrung der Hefe, kaum etwas zu tun hat, ſondern lediglich durch eine Kontaktwirkung des Zellſaftes der Hefepilze zuſtande kommt. Wir haben es hier alſo mit einer ausgeſprochenen Katalyſatorwirkung zu tun, wie ſie in der Chemie bei ſo vielen Gelegenheiten eine Rolle ſpielt.

Der Katalyſator oder Kuppelſtoff wirkt dabei lediglich durch ſeine Gegenwart, ohne ſelbſt irgendwelche Veränderungen zu erfahren. Je nachdem verurſacht er entweder den Zerfall vorhandener Verbindungen oder die Entſtehung

neuer Verbindungen aus vorhandenen Einzelstoffen. So wird beispielsweise beim Haberschen Ammoniakverfahren fein verteiltes Nickelmetall als Katalysator benutzt und kuppelt Wasserstoff und Stickstoff zu Ammoniak zusammen. In unserem Falle wirkt der Zellsaft der Hefepilze als ein zerlegender Katalysator, er spaltet eben den Traubenzucker in Alkohol und Kohlensäure auf. Diese Wirkung läßt aber allmählich nach, und zwar in dem gleichen Maße, in dem der gärende Most infolge dieser Spaltung an Traubenzucker ärmer wird. Während die Gärung und damit auch die Kohlensäureentwicklung zum Beginn des Vorganges so stark ist, daß man den Gärbottichen einen besonderen Raumüberschuß, den sogenannten Schaumraum, geben muß, und daß man die Gärfässer mit besonderen, nach Art von Sicherheitsventilen wirkenden Gärspunden versehen muß, um ein Platzen derselben durch den Kohlensäuredruck zu verhüten, läßt die Gärung sehr bald nach und erlischt fast vollkommen, sobald der größte Teil des Traubenzuckers in Alkohol und Kohlensäure gespalten ist.

Es erübrigt sich danach nur noch, den vergorenen Most von der Hefe zu trennen. Das geschieht meistens durch vorsichtiges Umfüllen in andere Fässer und schließlich durch Abfüllen in Flaschen. Damit ist der eigentliche Gärvorgang abgeschlossen. Was jetzt, von aller Hefe befreit, in den Flaschen steht, ist tatsächlich Wein, d. h. eine wäßrige Lösung von Äthylalkohol, die durch Traubenzucker versüßt und durch Fruchtsäuren mit einer gewissen Säure behaftet ist, der aber weiterhin die verschiedenen Fruchtäther für Nase und Gaumen ein ganz bestimmtes Bukett verleihen. Trotz-

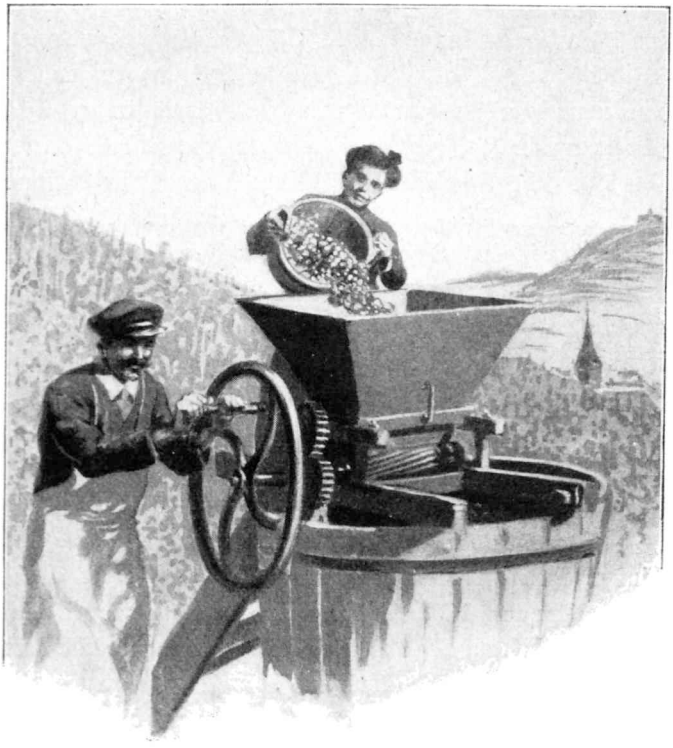


Fig. 129. Eine Vorkelter in den Weinbergen.
Die gepflückten Trauben werden durch zwei Walzen getrieben, welche die einzelnen Beeren zerquetſchen.

dem aber iſt dieſer Wein für unſeren Geſchmack noch nicht vollkommen. Er muß noch die ſogenannte Flaſchenreife erhalten, indem er einige Jahre im Keller lagert. Was ſich hier chemiſch vollzieht, iſt heute auch noch nicht annähernd ergründet. Wir wiſſen nur, daß noch eine gewiſſe

Sauerſtoffeinwanderung trotz Siegellack und Stanniol durch den Pfropfen hindurch in die Flaſche ſtattfindet, und daß äußerſt feine und kaum zu erfaſſende Umſetzungen zwiſchen den mannigfachen Fruchtäthern und Fruchtſäuren ſtattfinden, welche die Zunge des Weinkenners untrüglich merkt.

Wir ſahen, daß die eigentliche alkoholiſche Gärung, jene Zerlegung des Traubenzuckers in Alkohol und Kohlenſäure, durch die einfache Kontaktwirkung des Zellſaftes des Hefepilzes zuſtande kommt. Die Frage bleibt zu beantworten, ob die Lebensvorgänge der Hefe ſonſt noch irgendwelche Prozeſſe in dem Moſt hervorrufen. Dieſe Frage kann nur durch den Verſuch geklärt werden. Bisher haben wir unſeren Wein einfach hergeſtellt, indem wir den Moſt durch die auf den dazu gehörigen Beerenſchalen ſitzenden Hefepilze vergären ließen.

Aber wir können das Experiment ja abändern. Wir können Trauben einer beſtimmten Art keltern, die Treber vom gepreßten Moſt abſeihen und den Moſt durch eine längere Erhitzung auf 100 Grad ſteriliſieren, d. h. alle darin befindlichen Hefepilze abtöten. Wir können nun weiter von irgendeiner ganz anderen Traubenart die Hefepilze einfangen, indem wir beiſpielsweiſe eine Traube mit reinem Waſſer gut abwaſchen und dieſes Waſchwaſſer, in dem die Hefepilze jetzt ſein müſſen, in unſere erſte ſteriliſierte Moſtart hineinſchütten. Jetzt werden wir alſo den Moſt einer erſten Traubenſorte nicht mehr mit der auf dieſen Trauben natürlich wachſenden Hefe vergären, ſondern mit der auf einer zweiten Sorte vorkommenden. Als Gegenproben haben wir Traubenſorte Eins mit ihrer eigenen Hefe ver-

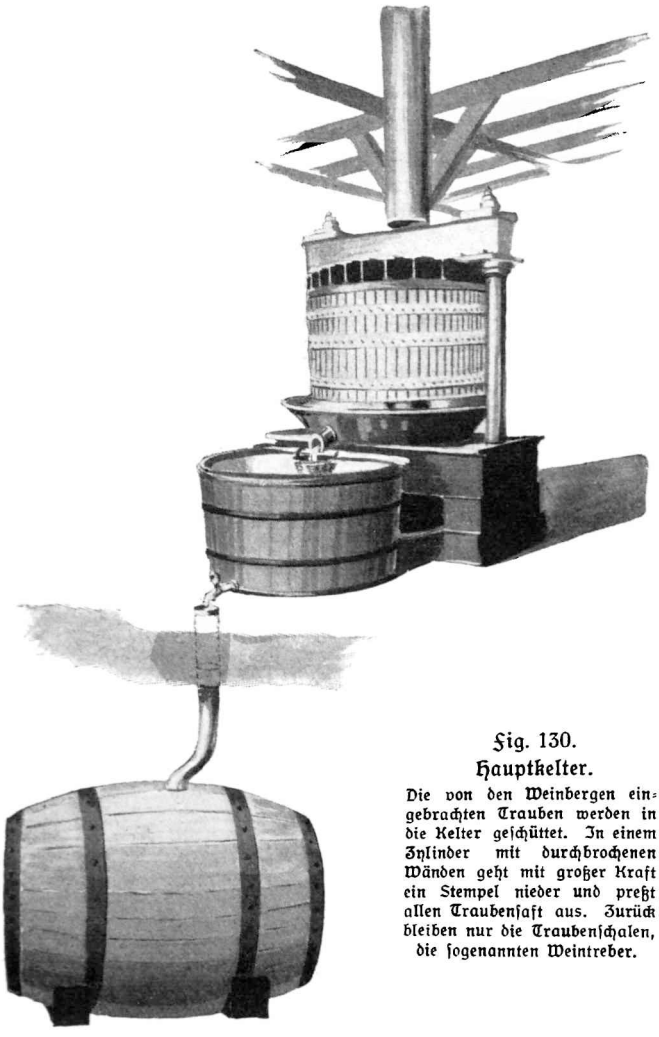


Fig. 130.

Hauptkelter.

Die von den Weinbergen eingebrachten Trauben werden in die Kelter geſchüttet. In einem Zylinder mit durchbrochenen Wänden geht mit großer Kraft ein Stempel nieder und preßt allen Traubenſaft aus. Zurück bleiben nur die Traubenſchalen, die ſogenannten Weintreber.

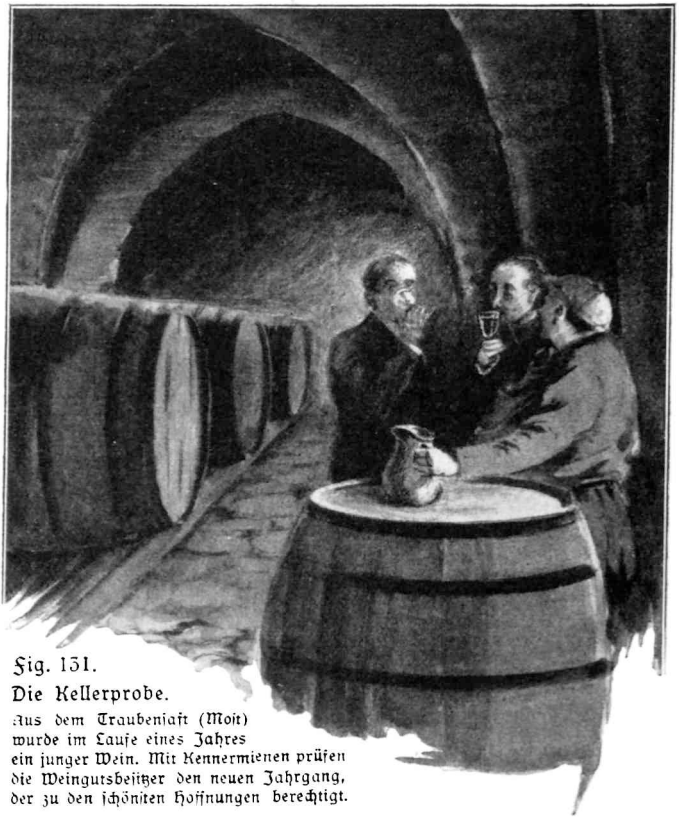


Fig. 131.
Die Kellerprobe.
Aus dem Traubensaft (Most) wurde im Laufe eines Jahres ein junger Wein. Mit Kennermienen prüfen die Weingutsbesitzer den neuen Jahrgang, der zu den schönsten Hoffnungen berechtigt.

goren und Traubensorte Zwei ebenfalls mit ihrer eigentümlichen Hefe angesetzt.

Diese Versuche sind durchgeführt worden. Ihr Ergebnis hat gezeigt, daß die Tätigkeit der Hefe mit der Verwandlung des Traubenzuckers in Alkohol auch nicht annähernd erschöpft ist. Vielmehr entstehen die eigentlichen

Bukettstoffe, welche die eine Weinsorte so sehr von der anderen unterscheidet, überhaupt erst durch die Tätigkeit der Hefepilze und scheinen recht eigentliche Stoffwechselprodukte dieser Pilze zu sein. Der klassische Versuch auf diesem Gebiet geht in der Weise vor sich, daß man eine gewisse Anzahl, beispielsweise ein Dutzend, vollkommen steriler Lösungen von Traubenzucker in Wasser ansetzt, der Lösung eine gewisse Menge in jedem Falle gleicher Nährsalze (Phosphorsalze, Alkalien, Nitrate) zusetzt und nun in diese vollkommen gleichartigen Zuckerlösungen die Hefen von sehr verschiedenen Traubenarten, beispielsweise von Rüdesheimer Trauben, von portugiesischen, italienischen, griechischen usw. Trauben, einführt.

Der Erfolg der nun einsetzenden Gärungen ist verblüffend. Die auf diese Weise aus den gleichen künstlichen Mosten gewonnenen Weine zeigen in auffallender Weise Aroma und Bukett der Naturweine, von deren Trauben die jeweilige Hefe gewonnen wurde. Hier in dieser Fabrikation der Bukettstoffe haben wir die recht eigentliche Arbeit der Hefen zu erblicken, während die Umwandlung des Traubenzuckers ein viel gröberer, auf einfacher Katalyse beruhender Vorgang ist. Die Praxis hat sich diesen Forschungsergebnissen nicht verschlossen, und die Züchtung besonderer Edelhefen bildet heute ein großes und gewinnbringendes Arbeitsgebiet innerhalb der Gärungsindustrie. Das gilt nicht nur für Weinhefen, sondern auch für Bierhefen, für Bäckereihefen und ganz besonders auch für jene Hefenarten, welche die bei der Käsebereitung unentbehrlichen Gärungsvorgänge in der Milch hervorrufen.

Gehen wir nun einen Schritt weiter und wenden uns vom Wein zum Bier. Im Gegensatz zum Rebensaft, dem Wein, bezeichnet man das Bier wohl als Gerstensaft, und es ist eine weitverbreitete Wissenschaft, daß Hopfen und Malz die beiden für jedes Bier unentbehrlichen Grundstoffe sind. Beginnen wir beim Gerstenkorn. Wie jedes andere Getreidekorn enthält auch das Gerstenkorn in seinem Inneren eine gewisse Menge von Stärke. Die Stärke ist, wie schon an anderer Stelle gesagt, ein Kohlenhydrat von der Form $(C_6H_{10}O_5)_x$. Die Formel besagt, daß im Molekülbau der Stärke auf je 6 Kohlenstoffatome je 5 Hydratgruppen von der Form OH_2 entfallen. Wie oft dieser Komplex im einzelnen Stärkemolekül wirklich vorhanden ist, entzieht sich einstweilen unserer genauen Kenntnis. Als wahrscheinlich darf aber gelten, daß er mindestens sechsmal darin vorkommt. Die Natur hat diesen Stärkevorrat in das Gerstenkorn gepackt, um der Gerstenpflanze, die einmal daraus entsprießen soll, für jene erste Zeit, in der sie noch nicht imstande ist, sich ihre Nahrung selbst zu bereiten, die nötigen Subsistenzmittel mitzugeben. Diese Verhältnisse kommen in den weiteren chemischen Veränderungen deutlich zum Ausdruck.

Solange das Gerstenkorn trocken im Speicher liegt, bleibt auch die Stärke unverändert. Aber sobald man die Gerstenkörner kräftig mit Wasser benetzt und dadurch ihre Keimtätigkeit anregt, beginnen auch die chemischen Umsetzungen (Fig. 132). Während das einzelne Korn nach der einen Seite ein Keimspitzchen und nach der anderen ein Wurzelbüschelchen herausstreckt, geht auch eine gründ-

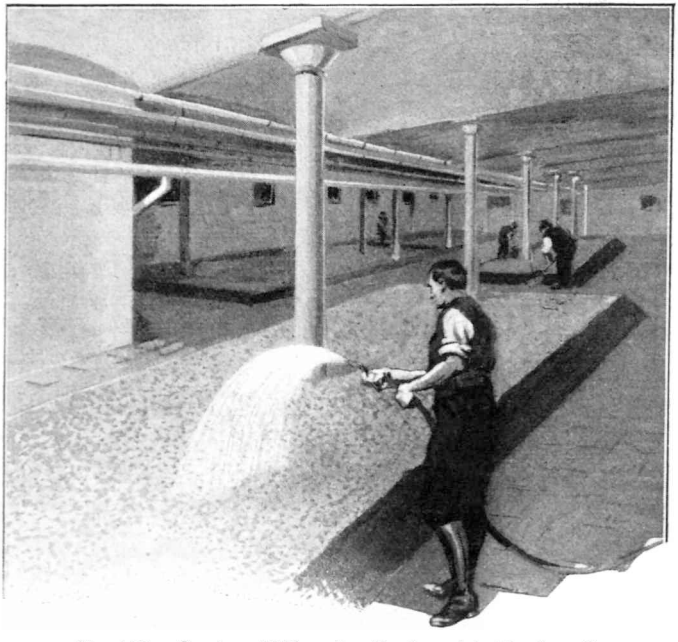


Fig. 132. In der Mälzerei. Gerſte wird überbrauſt.
Sie lagert feucht und warm und keimt dabei. Durch den Keimungsprozeß verwandelt ſich das Mehl der Gerſtenkörner in waſſerlöslichen Malzzucker.

liche Umwandlung in ſeinem Inneren vor ſich. Die Hüllen, welche den Stärkemehlkern umſchließen, beſtehen ja aus Pflanzeneiweißen. Während der Keimung erfährt ein Teil dieſes Eiweißes eine Umwandlung in einen eigenartigen eiweißähnlichen Stoff, den man als Diaſtaſe bezeichnet.

Die Diaſtaſe beſitzt nun die eigentümliche Eigenſchaft, daß ſie Stärkemehl, mit dem ſie in Berührung kommt, auf-ſpaltet. Wir gingen vom Molekül der Stärke von der Form

$(C_6H_{10}O_5)_x$ aus. Durch die Einwirkung der Diastase wird das Stärkemolekül in kleinere Gruppen von der Form $C_{12}H_{20}O_{10}$ zerlegt, und diesen wird aus dem bei der feuchten keimenden Gerste ja stets vorhandenen Wasser noch ein Wasserstoffmolekül H_2O angegliedert, so daß ein neues Molekül von der Form $C_{12}H_{22}O_{11}$ entsteht.

Dies ist das Molekül der Maltose oder des Malzzuckers, jenes süßen, nahrhaften Stoffes, den wir alle wohl vom Malzextrakt oder von der Mumme her kennen. Durch diese Umwandlung wird die in Wasser unlösliche Stärke in die verhältnismäßig leicht lösliche Maltose verwandelt, und das Gerstenpflänzchen könnte nun mit diesem flüssigen Nährstoff den Aufbau seiner Wurzeln und Blätter durchführen, bis es so weit ist, mit seinen Wurzeln mineralische Nährstoffe aus der Erde zu saugen und mit seinen grünen Blättchen unter Mithilfe des Sonnenlichtes selbst neue Stärkemoleküle aus dem Wasser des Bodens und der Kohlensäure der Luft aufzubauen.

Aber in den Mälzereien kommt es nicht dazu. Da liegt die Gerste in luftigen Räumen von 18 Grad Celsius, wird alle paar Stunden mit Wasser überbraust und alle Tage mit breiten Holzschaufeln durchgearbeitet, so daß sich die Keimung unter genau geregelten Bedingungen vollzieht. Sobald aber der Zeitpunkt erreicht ist, an dem der allergrößte Teil des Stärkegehalts der Gerstenkörner in Maltose verwandelt ist, macht der Mensch dem weiteren Keimen ein jähes Ende. Die Körner werden auf Trockenhorden, die sogenannten Malzdarren, geschaufelt und hier mittels heißer Luft in kürzester Zeit getrocknet. Schon durch diese

Trocknung werden alle Lebensvorgänge und damit auch alle weiteren chemiſchen Veränderungen beendet. Das trockne Gerſtenkorn war ein lebendiger Organismus, wenn das Leben auch zu ſchlummern ſchien. Das keimende

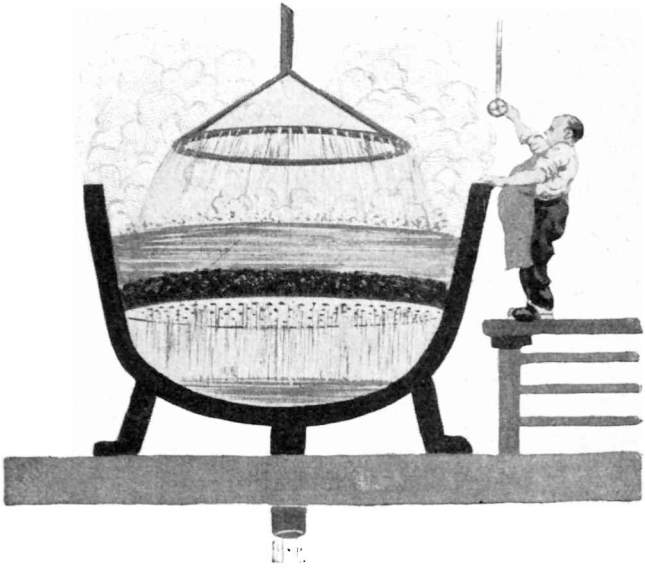


Fig. 133. Das Einmaiſchen.

Der Brauereiprozeß beginnt mit dem Einmaiſchen. In einer großen Pfanne wird Malz mit heißem Waſſer überbrauſt. Der Malzzucker löſt ſich, es entſteht eine Zuckerlöſung, die ſogenannte Würze.

Korn war in voller Lebenstätigkeit, das gedarrte Malzkorn iſt tot. Es kommt nun weiter in Poliermühlen, die es ſorgfältig von ſeinem Keimſpitzchen und Wurzelbärtchen befreien. Was danach die Mühle verläßt, iſt poliertes, braufähiges Malz. In unſerem Falle iſt es Gerſtenmalz, welches

faſt ausſchließlich verbraut wird. Man kann aber natürlich auch jede andere Getreideart einmälzen. Das geſchieht beiſpielsweiſe mit Weizen für die Herſtellung der Weizenbiere, zu denen auch das bekannte Berliner Weißbier gehört.

Wir folgen nun dem fertigen Malz auf ſeinem weiteren Wege in die Brauerei. Da wird es in einen gewaltigen Bottich geſchaufelt und mit heißem Waſſer überbrauſt, während gleichzeitig ein Rührwerk Waſſer und Malz gehörig durcheinanderbringt (Fig. 133). Nun aber macht es ſich fühlbar, daß die Stärke der Körner in Maltoſe verwandelt wurde. Durch das heiße Waſſer wird die Maltoſe vollkommen aus den Körnern ausgelaugt. Wir bekommen eine wäßrige Maltoſelöſung, während die Malzkörner jetzt nur noch die eiweißhaltigen Kornhüllen und einige wenige Stärkereſte enthalten.

Nun wird dieſe Malzzuckerlöſung, die ſogenannte Würze, aus dem Behälter abgelaſſen und fließt in einen anderen, tiefer gelegenen Keſſel, deſſen Wandungen durch Dampf beheizt werden können. Die ausgelaugten Malzkörner werden ebenfalls aus dem Keſſel genommen, gepreßt, eventuell auch getrocknet, und ergeben ein eiweißreiches, ſehr wertvolles Viehfutter. Es ſind die Biertreber. In unſerem zweiten Keſſel haben wir nun eine zuckerhaltige Löſung, die ohne weiteres ſofort vergärungsfähig wäre. Der kleine Unterſchied, daß wir beim Weinmoſt eine Löſung von Traubenzucker und bei der Würze eine ſolche von Malzzucker haben, tut dabei nichts zur Sache.

Aber im Moſt hatten wir noch eine Menge ätheriſcher und aromatiſcher Stoffe, die in der Malzwürze fehlen.

Fig. 134.
Die „Zupfianer"
bei der Arbeit.

Die Hopfenernte beginnt. Tausende von Händen sind beschäftigt, die aromatischen Hopfenblüten von den Ranken zu zupfen und in Körben zu sammeln.

Deshalb setzt nun die Verbesserung mittels des Hopfens ein (Fig. 134). Die Hopfenblüten enthalten eine Reihe aromatischer, harzartiger Bitterstoffe, die sich in heißem Wasser lösen können. So bringt man nun in die noch warme Würze eine abgewogene Menge Hopfenblüten und beginnt unter gleichzeitigem Umrühren die Pfanne zu beheizen. Dabei gehen jene aromatischen Bitterstoffe des Hopfens in Lösung. Außerdem aber lösen sich auch allerlei eiweißartige Verbindungen aus den Hopfenblüten, die man im Bier unter keinen Umständen brauchen kann. So folgt denn jetzt eine kritische Etappe, nämlich das sogenannte Klarkochen der Würze. Es müssen dabei fortlaufend Proben genommen und beobachtet werden (Fig. 136).

Ist der Augenblick gekommen, in dem die Würze vollkommen klar ist, alle trübenden eiweißartigen Verbindungen sich also durch das Kochen wieder in geronnenem Zustande niedergeschlagen haben, so wird die Heizung abgestellt und die gehopfte Würze von den Hopfentrebern abgelassen. Man leitet sie jetzt in die Kühlpfanne, eine sehr flache und sehr große Pfanne von hundert und mehr Quadratmeter Fläche, in der die heiße Würze nur etwa 10 Zentimeter hoch steht und sich daher sehr schnell abkühlt (Fig. 137). Ist ihre Temperatur auf etwa 20 Grad gesunken, so läßt man sie aus der Kühlpfanne abfließen und über kupferne Rohre rieseln, die im Inneren von sehr kalter Eismaschinenlauge durchströmt werden (Fig. 138). So abgekühlt gelangt die Würze endlich in die großen Gärbottiche des Kellers (Fig. 139), und hier wird ihr nun eine bestimmte Menge Hefe zugesetzt.

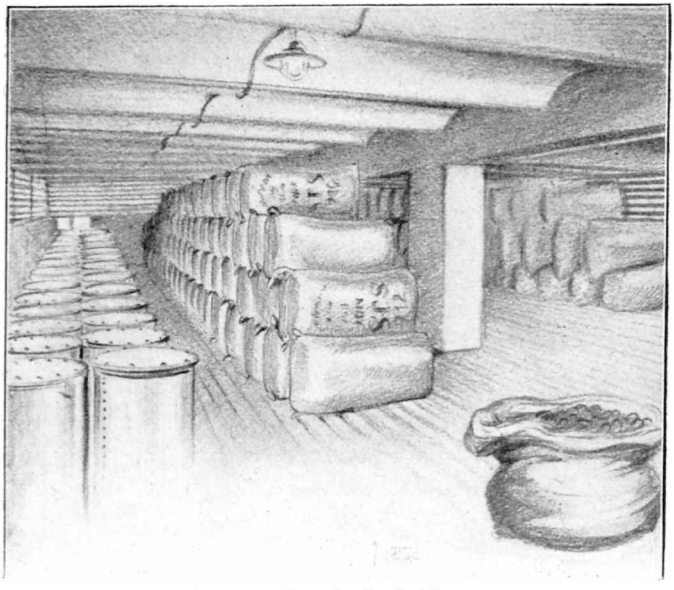


Fig. 135. Im Hopfenkühlraum.
Der im Herbſt geerntete Hopfen muß das ganze Jahr hindurch reichen und ſich unverdorben halten. Die großen Brauereien lagern deshalb ihre Hopfenvorräte in beſonderen Kühlräumen.

Es iſt alſo an dieſer Stelle ein grundſätzlicher Unterſchied zwiſchen der Wein- und Bierbereitung feſtzuſtellen. Der Wein vergor durch die auf ſeinen Beeren wachſende Hefe. Solche Hefe iſt in der Gerſte oder dem Malz nicht vorhanden, und ſelbſt wenn ſie vorhanden wäre, würde ſie durch das Kochen der Würze längſt abgetötet ſein. Ließen wir nun die gekühlte gehopfte Würze einfach in den Gärbottichen ſtehen, ohne ihr eine beſtimmte Hefe zuzuſetzen, ſo würde ſie nach einiger Zeit trotzdem in Gärung geraten.

Tatsächlich treiben sich ja Hefepilze aller Art überall in der Luft umher, und auch in unsere Würze würden einige davon gelangen, die fähig sind, Zuckerlösung in Alkohol und Kohlensäure aufzuspalten.

Aber wir wären dabei den schlimmsten Zufälligkeiten ausgesetzt, denn neben den wenigen guten Hefen, deren Stoffwechselprodukte dem menschlichen Gaumen zusagen, gibt es eine viel größere Anzahl von wilden Hefen, die jede Würze verderben. Selbst die Hefe einer Brauerei, die sorgfältig von einer vergorenen Würzemenge abgeschöpft und auf die nächste frische Würze übertragen wird, pflegt nach einiger Zeit zu entarten. Ebenso wie wir heute wissen, daß die Art und die Tätigkeit der Weinhefe vom größten Einfluß auf das Bukett und den Charakter des mit ihrer Hilfe gewonnenen Weins ist, hat man auch erkannt, daß die Qualität eines Biers sehr wesentlich von der Hefe abhängt. Die Züchtung guter Hefen ist deshalb zu einer Spezialwissenschaft geworden, die beispielsweise in Berlin in dem Institut für Gärungsindustrie gepflegt wird.

Die Züchtung solcher Edelhefen gehört in das Gebiet der Biologie und kann hier nicht näher behandelt werden. Aber der Einfluß der Hefen macht sich auf chemischem Gebiete äußerst stark bemerkbar. Ein und dieselbe Würze gibt, mit verschiedenen Hefen vergoren, Biere von sehr verschiedenem Charakter. Ist die Gärung der Würze beendet, so haben wir das Bier, welches nun nur noch von der Hefe zu trennen ist, genau so wie der vergorene Wein ausreifen muß und schließlich auch auf Flaschen gefüllt werden kann (Fig. 140).

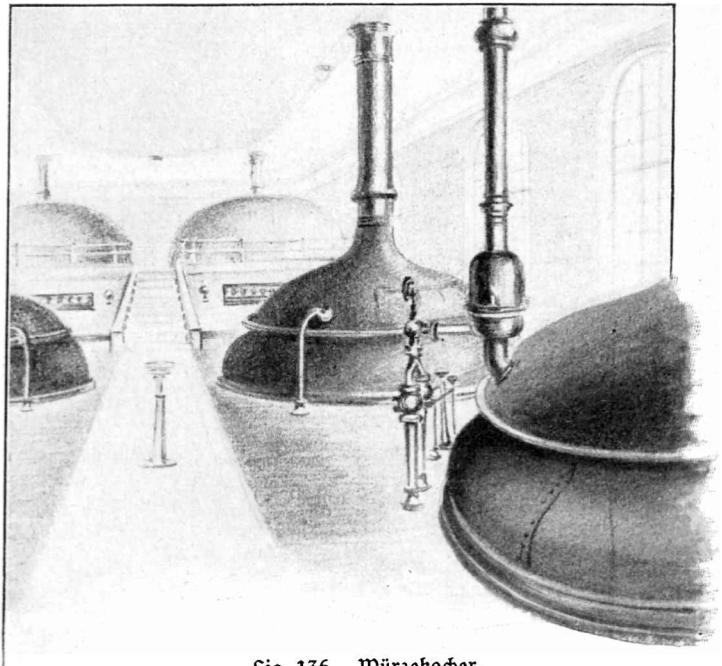


Fig. 136. Würzekocher.
Die von den ausgelaugten Malzkörnern abgelaſſene Würze wird mit Hopfen gekocht. So entſteht die gehopfte Würze.

Ein drittes Gebiet, auf dem wir von der ſogenannten alkoholiſchen Gärung, d. h. von der Spaltung der Stärke oder des Zuckers in Alkohol und Kohlenſäure, ausgiebigen Gebrauch machen, iſt die Bäckerei. Während es uns aber beim Wein und beim Bier in erſter Linie auf den bei dieſer Gärung entſtehenden Alkohol ankommt und die Kohlenſäure nur Nebenprodukt iſt, bildet ſie bei der Bäckerei die Hauptſache. Man fügt dem Brotteig, einem Gemiſch

von Mehl, Waſſer und ein wenig Salz, die Hefe zu, formt aus dieſem Gemenge die Brote und läßt ſie dann einige Stunden „aufgehen".

Während dieſer Zeit beginnt die Hefe den bekannten Spaltungsprozeß. Ein kleiner Prozentſatz des Stärkemehls wird in Alkohol und Kohlenſäure geſpalten. Aber dieſe

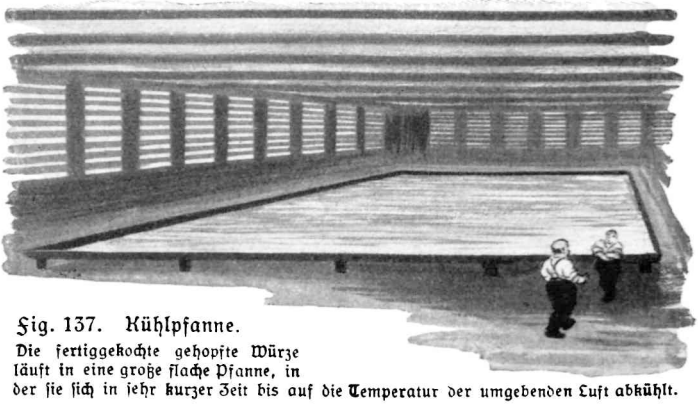


Fig. 137. Kühlpfanne.
Die fertiggekochte gehopfte Würze läuft in eine große flache Pfanne, in der ſie ſich in ſehr kurzer Zeit bis auf die Temperatur der umgebenden Luft abkühlt.

Kohlenſäure kann nicht entweichen, wie ihr das bei dem gärenden Moſt ganz leicht und bei der Bierwürze auch noch ganz gut möglich war. Sie iſt ja von allen Seiten vom zähen Teig umſchloſſen. Es bleibt ihr daher nichts übrig, als an Ort und Stelle zu bleiben und ſich dort auszudehnen. So kommt jenes Aufgehen zuſtande.

Außerdem enthalten die aufgegangenen Brotlaibe auch eine gewiſſe Menge Alkohol. Nun aber kommen ſie in den Backofen, und hier wird der Alkohol durch die Ofentemperatur reſtlos ausgetrieben und gewöhnlich zerſtört.

Erst in neuester Zeit sind Versuche im Gange, auch diesen Alkohol zu gewinnen. Es bleibt nur die Kohlensäure, die dem ausgebackenen Brot das leichte Gefüge verleiht. Außerdem aber findet durch die Ofenhitze eine teilweise Umwandlung der in Wasser unlöslichen Stärke in in Wasser lösliche und daher leichter verdauliche Verbindungen statt, von denen besonders der Stärkegummi oder das Dextrin genannt werden muß. Insbesondere die braune Kruste des ausgebackenen Brotes besteht fast ausschließlich aus Dextrin.

Außer der alkoholischen Gärung kennen wir auch noch die saure Gärung, die ebenfalls auf die Tätigkeit bestimmter Hefepilze zurückzuführen ist. Bei der alkoholischen Gärung war Stärke oder Zucker der Grundstoff, der in Alkohol und Kohlensäure aufgespalten wurde. Die saure Gärung geht dagegen vom Alkohol C_2H_5OH als Grundstoff aus, der durch die essigbildenden Spaltpilze in Essigsäure von der Form $C_2H_4O_2$ verwandelt wird. Wie man sieht, handelt es sich hier nicht um eine einfache Spaltung, sondern um einen komplizierteren Vorgang. Es müssen aus dem Alkoholmolekül zwei Wasserstoffatome herausgedrängt werden, und es muß andererseits ein Sauerstoffatom einwandern. Die Wechselwirkung dürfte sich in der Weise vollziehen, daß ein zweiatomiges Sauerstoffmolekül gespalten wird und eines seiner Atome mit den beiden aus dem Alkohol verdrängten Wasserstoffatomen sofort ein Wassermolekül H_2O bildet, während das zweite Sauerstoffatom eben an Stelle der beiden herausgehenden Wasserstoffatome in das Alkoholmolekül eintritt und es dadurch in ein Essigsäuremolekül

verwandelt. Zu diesem Vorgange ist also einerseits Sauerstoff notwendig, und außerdem bedarf es der essigbildenden Bakterien. Schließlich muß man von einer alkoholhaltigen Flüssigkeit ausgehen.

Gegenwärtig geht die Fabrikation in der Weise vonstatten, daß man sich eine Essigmaische herstellt, welche je nach der Art des zu gewinnenden Essigs verschiedenartig zusammengesetzt wird. Für den feinsten Tafelessig, den reinen Weinessig, bildet irgendein alkoholreicher Wein die Maische, dem man nur gewisse Nährstoffe, insbesondere Ammoniumphosphat, zusetzt, um eine kräftige Entwicklung der Essigbakterien zu begünstigen. Billigere Essigsorten werden aus einer Maische gewonnen, die in der Hauptsache aus Kartoffelspiritus und Wasser unter Zugabe der bereits erwähnten Nährsalze zusammengestellt wird. Der Essig dieser Maische ist natürlich nichts anderes als eine wäßrige Lösung von Essigsäure, während der Weinessig außerdem auch noch mannigfache Bukettstoffe des verarbeiteten Weines enthält. Der Weinessig und weiterhin die sogenannten Verschnittessige, d. h. Mischungen von Weinessig und aus Spiritusmaische gewonnenem Essig, dienen Tafelzwecken, während die Erzeugnisse einer einfachen Alkoholmaische für technische Zwecke Verwendung finden.

Die Essigfabrikation geht nun in den sogenannten Essigbildnern vor sich. Es sind dies hohe, schmale Holzgefäße, die im Inneren mit locker geschichteten Holzspänen gefüllt sind. Das Oberteil dieser Gefäße ist durch einen hölzernen Siebboden abgeschlossen. Die Späne sind gut eingesäuert, d. h. mit einer an Essigbakterien reichen essig-

säurehaltigen Flüssigkeit getränkt. Durch das Holzsieb trieft nun die Maische in vielen feinen Strahlen auf die Späne und tropft weiter nach unten, während gleichzeitig von unten nach oben kräftig sauerstoffhaltige Luft durch den Essig-

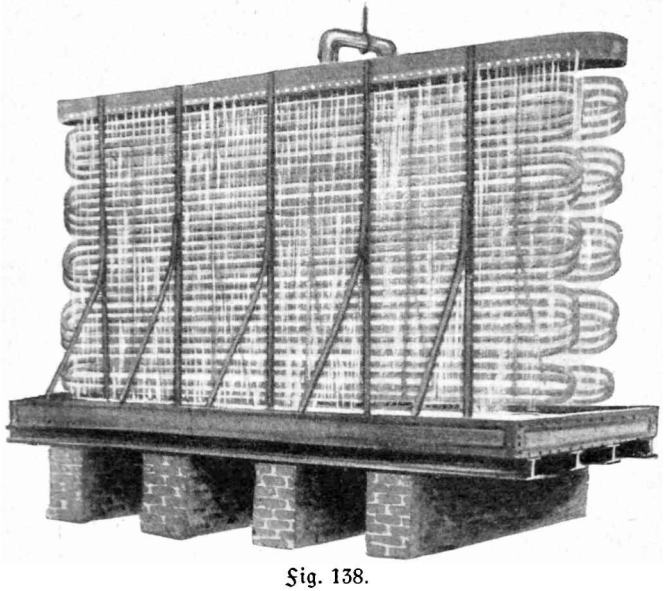


Fig. 138.
Die vorgekühlte Würze rieselt über Kupferrohre, die von einer eiskalten Salzlösung durchströmt werden, und wird dabei in wenigen Minuten bis auf fünf Grad Wärme abgekühlt.

bildner streicht. Es setzt dabei die gewollte Reaktion ein, und durch die Tätigkeit der Bakterien wird der Alkohol der Maische unter Einwanderung des Luftsauerstoffs zu Essigsäure oxydiert.

Ein Kapitel für sich bilden die gebrannten alkoholischen Flüssigkeiten. Während die Technik der Traubengärung und

Weinbereitung bis in die vorgeschichtliche Zeit zurückgeht, verdanken wir die Kunst des Brennens erst den Arabern des siebenten Jahrhunderts. Der Name Alkohol deutet ja noch auf diesen arabischen Ursprung hin. Was man in der Technik kurzerhand als Brennen bezeichnet, ist aber, chemisch gesprochen, eine fraktionierte Destillation. Man erhitzt eine alkoholisch vergorene Flüssigkeit, beispielsweise Wein, in einem geschlossenen Gefäß bis zum Kochen und leitet die Dämpfe durch eine in kaltem Wasser liegende Kühlschlange. In dieser verdichten sie sich wieder und tropfen aus dem unteren Ende der Schlange herab. Herabtropfen heißt aber lateinisch destillare, Destillat heißt: Es tropft herab.

Nun siedet der reine Alkohol bereits bei 80 Grad, Wasser dagegen erst bei 100 Grad, die mannigfachen ätherischen Verbindungen, die jeder Wein enthält, sieden um 80 Grad herum. Zuerst werden daher diese Bukettstoffe und fast reiner Alkohol übergehen, während bei fortschreitender Destillation auch Wasser mit verdampft. Wenn man die Destillation daher zu einem bestimmten Zeitpunkt unterbricht, kann man fast allen Alkohol, aber nur wenig Wasser in dem Destillat haben.

Auf diese Weise gewinnt man aus verschiedenen alkoholisch vergorenen Flüssigkeiten die verschiedenen Branntweine, beispielsweise aus dem Traubenwein den Weinbrand, den man vor dem Friedensvertrag von Versailles auch kurzweg Kognak nannte, aus vergorenem Zuckerrohr den Rum, aus vergorenem Reis den Arrak, aus den verschiedenen Fruchtweinen die entsprechenden Fruchtbranntweine, wie Kirsch-, Pflaumenbranntwein usw. Vergorenes Korn gibt

beim Brennen den Kornbranntwein, vergorene Kartoffelmaische den Kartoffelspiritus. Dieser letztere ist fast vollkommen frei von Duft- und Bukettstoffen, welche den

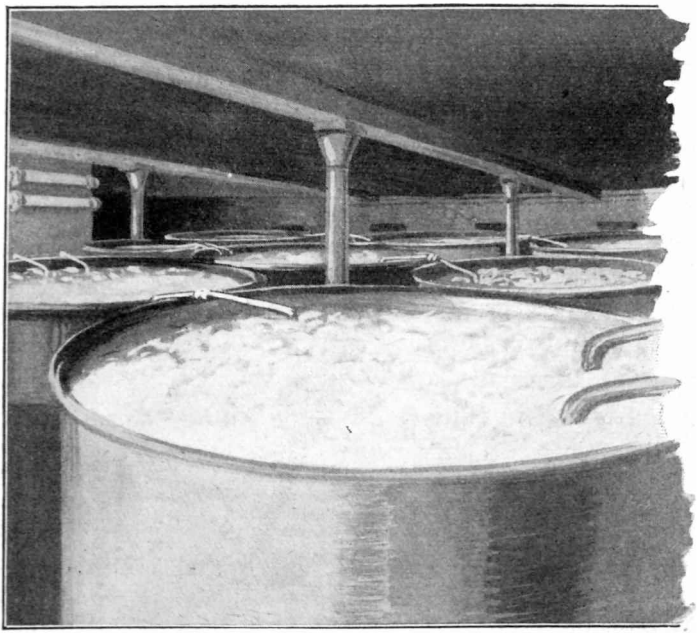


Fig. 139. Gärbottiche.
Die gekühlte Hopfenwürze kommt im Gärkeller in große Bottiche und erhält einen Hefezusatz. Die Gärung setzt ein, die aus der Würze Bier macht.

anderen Destillaten ihren charakteristischen Geschmack verleihen. Bei sorgfältiger und mehrmals wiederholter Destillation ist das Endprodukt hier ein beinahe chemisch reiner Äthylalkohol von der Form C_2H_5OH.

Schließlich ſind noch die Gärungsvorgänge in der Milch zu erwähnen. Die Milch iſt eine Emulſion. Das Milchfett, die Butter, iſt in unendlich zahlreichen mikroſkopiſchen Tröpfchen in der Milchflüſſigkeit, einer wäßrigen Löſung von Milchzucker und Milcheiweißen, vorhanden. Schon bei längerem Stehen der Milch ſteigen die Fettkügelchen nach oben und bilden hier den fettreichen Rahm oder die Sahne. Durch das Buttern werden die Fettkügelchen ſyſtematiſch zu größeren Fettportionen zuſammengeballt und der Milch entzogen. Was übrigbleibt, iſt die fettfreie Magermilch.

Nun hat man weiter Mittel, die in dieſer einſtweilen noch gelöſt vorhandenen Eiweiße in eine waſſerunlösliche Form zu bringen, gerinnen zu laſſen und dann auch auszuſcheiden. Das am meiſten benutzte Mittel iſt die Wand des Kälbermagens, des ſogenannten Labmagens. Wird dieſer Stoff in Milch gebracht, ſo ſcheidet ſich das Milcheiweiß in Flockenform aus und kann durch einfaches Seihen von der reſtlichen Flüſſigkeit getrennt werden. Dieſe enthält danach nur noch Milchzucker und verſchiedene waſſerlösliche Nährſalze, unter denen beſonders die Phosphate zu erwähnen ſind. Das von der Flüſſigkeit abgeſeihte und durch Preſſen weiter getrocknete Flockengerinnſel bildet dagegen den bekannten weißen oder Quarkkäſe. Je nachdem wir Vollmilch oder Magermilch mit dem Lab zum Gerinnen brachten, haben wir die Butter mit im Quarkkäſe oder nicht. Der Quarkkäſe iſt nun ſeinerſeits das Ausgangsprodukt für alle anderen Käſeſorten. Butterhaltig gibt er den Grundſtoff für die Fettkäſe, ohne Butter den für die Magerkäſe ab.

Wenn wir aber die ungeheure Verschiedenheit der mannigfachen Käsearten betrachten, die alle aus ein und demselben Grundstoff gewonnen werden, so taucht sofort der Verdacht auf, daß hier wieder Gärungspilze, gewissermaßen verschiedene Milch- oder Käsehefen, für diese Verschiedenheiten verantwortlich zu machen sind. Das ist nun auch in der Tat so. Für einige wenige Käsesorten werden die gewünschten Bakterien besonders gezüchtet und in den frischen Quarkkäse hineingearbeitet. Das ist beispielsweise bei dem Roquefort der Fall. Man nimmt verschimmelte Brotrinde, die einen ganz bestimmten grünlichen Schimmelbelag zeigen muß, und bröckelt sie in den Quark. In vielen anderen Fällen verläßt man sich auf die Pilzkulturen, die in den älteren, schon in der Reife vorgeschritteneren Käsen vorhanden sind, und impft etwas von dieser Masse in den frischen Quark über.

So beginnt wieder eine Gärung. Unter dem Einflusse der Bakterien findet eine Aufspaltung der im Quark vorhandenen Milcheiweiße in einfachere und vielfach leichter zu verdauende Verbindungen statt. Es hat sich nämlich gezeigt, daß jedes Eiweiß, das wir genießen, in unserem Verdauungstraktus ebenfalls erst in sehr viel einfachere Verbindungen aufgespalten werden muß, bevor unser Organismus wieder etwas daraus aufbauen kann. Für das Milcheiweiß nimmt die Käsefabrikation diese Arbeit unserem Organismus ab und liefert Verbindungen, die vielfach ohne weiteres zu neuem Aufbau verwendbar sind.

Jedes Eiweiß enthält aber Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Schwefel und Stickstoff. Bei dem Zerfall des

Milcheiweißes durch die Gärungsbakterien werden auch mancherlei gasförmige Verbindungen frei. Die Löcher im Schweizerkäse geben den Beweis dafür. Vielfach liefern die chemischen Umsetzungen Kohlensäure und andere geruchlose Verbindungen. Aber daneben treten auch solche von starkem Geruch auf, von denen nur das bekannte Schwefelwasserstoffgas erwähnt sein mag, welches sich besonders stark in faulenden Eiern bildet. Geht die Gärung im Quark noch weiter, so ist auch freies Ammoniak zu spüren, das durch seinen stechenden Geruch besonders unangenehm auffällt.

Während wir nun die verhältnismäßig einfachen chemischen Vorgänge bei der alkoholischen und der Essiggärung ganz genau kennen, sind die sehr viel komplizierteren Verhältnisse der Gärung in Quark und werdendem Käse weniger bekannt. Immerhin weiß man, daß die richtige und beabsichtigte Gärung dabei sich durchaus von einer einfachen Fäulnis oder fauligen Gärung unterscheiden muß. Es ist chemisch durchaus verkehrt, wenn jemand behauptet, Käse sei nichts anderes als verfaulte Milch. Im Gegenteil soll die Gärung bei der Bereitung der guten Käsesorten geradezu aromatisch sein und sich von einer faulen oder wilden Gärung gründlich unterscheiden.

Dies Ziel läßt sich freilich nur durch eine dauernde Kontrolle der Hefen erreichen. Während man Jahrhunderte hindurch bei der Käsebereitung auf reine Erfahrung angewiesen war, hat man heute diese Hefezucht sehr genau in der Hand. Jede bessere Käserei sorgt dafür, daß ihre Hefen nicht entarten oder durch wilde Hefen verunreinigt

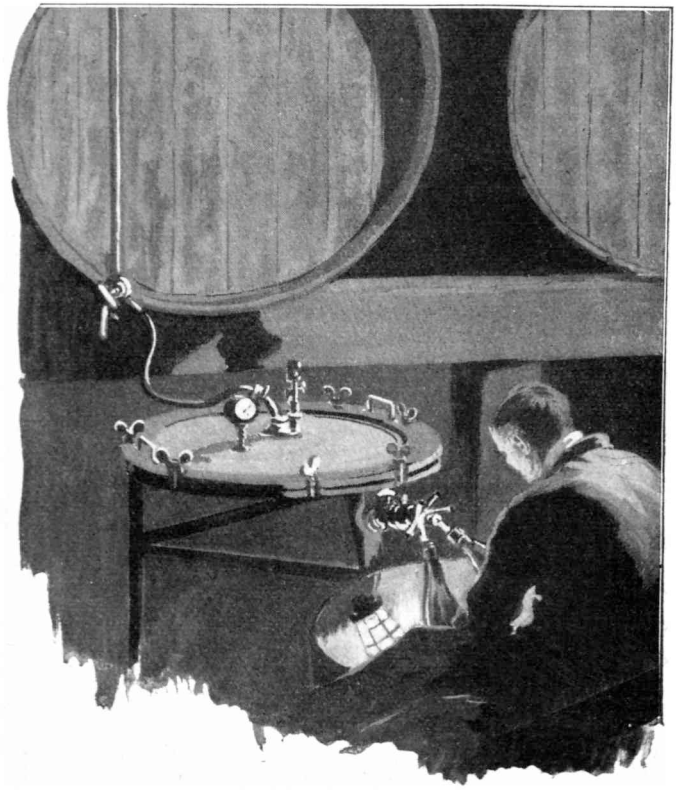


Fig. 140. Flaſchenfüllmaſchine.

Aus den Gärbottichen kommt das Bier in Fäſſer, in denen es lagert und flaſchenreif wird. Das flaſchenreife Bier wird mit Hilfe beſonderer Füllmaſchinen in Flaſchen gefüllt, die ſofort verkorkt werden.

werden. Sorgfältig werden von Zeit zu Zeit neue Hefen gezogen, wobei man etwa in folgender Weiſe zu Werke geht:

In einer vollkommen keimfrei gemachten flachen Schale befindet ſich Milch, welche durch Paſteuriſieren, d. h. durch

längere Erwärmung auf 60 Grad, ebenfalls von allen Keimen befreit wurde. Eine Glasglocke schützt das Ganze gegen das Hineinwirbeln irgendwelcher fremden Keime aus der Luft. Nun wird mit einer ebenfalls sterilisierten Nadel eine winzige Probe eines guten Käses der betreffenden Sorte genommen und in die Milch gebracht. Man sagt, die Milch wird geimpft. Von der Impfstelle aus beginnen die wenigen eingebrachten Gärungspilze zu wuchern und bilden einen sogenannten Pilzrasen. Hat dieser sich etwa bis auf Stecknadelkopfgröße ausgebildet, so wird er mit dem Mikroskop betrachtet; dies zeigt nun eine Art von Urwald, in dem sehr verschiedene Bäume wachsen. Es sind die Rasenformen verschiedener Gärungspilze, die hier noch nebeneinander vorkommen.

Wiederum werden mit Hilfe einer feinen sterilen Nadel einige Bäumchen der gewünschten Form aus dem Rasen genommen und in eine andere Schale sterilisierter Milch gebracht. Der Rasen, der sich im Laufe der nächsten Tage in dieser zweiten Schale bildet, ist bereits wesentlich einheitlicher und reiner. Das Verfahren wird noch mehrere Male wiederholt, und schließlich hat man einen Rasen, der nur noch die Formen der einen gewünschten Hefeart zeigt. Den kann man nun kräftig wuchern lassen, indem man einen solchen Rasen von der Größe eines Quadratmillimeters vorsichtig über eine ganze Schale ausimpft. So erhält man schließlich eine kräftige Hefe der gewollten Art, die nun bei der Käsefabrikation aus dem weißen Quark den betreffenden fertigen Käse mit allen Einzelheiten von Geschmack und Aroma entstehen läßt.

Die hier gegebenen Beiſpiele zeigen wohl, wie ſehr unſere ganze Nahrungsmittelchemie auf der Gärung beruht. Das einfache Abendbrot eines Tagelöhners mag aus einem Stück Schwarzbrot, einem Topfkäſe und einer Flaſche Bier beſtehen. Alle drei Dinge ſind Erzeugniſſe von Gärungsvorgängen. Ohne die alkoholiſche Gärung, die den Brotteig aufgehen ließ, wäre das gebackene Brot eine ſteinharte Maſſe, die etwa an Hundekuchen erinnern würde. Ohne die Milchgärung wäre der Käſe nicht ſo ſchmackhaft und verdaulich, wie er iſt, und ohne die alkoholiſche Gärung wäre das Bier eine einfache Limonade ohne Kohlenſäure und Alkohol. Erſt die Gärung macht uns alle dieſe Dinge bekömmlich und angenehm.

Chemie des täglichen Lebens

Wir lernten in den vorhergehenden Abſchnitten einige Tatſachen aus dem weiten Gebiete der theoretiſchen Chemie kennen und außerdem mehrere induſtrielle Anwendungen ſolcher Tatſachen. Aber es wäre verkehrt, nun etwa anzunehmen, daß alle chemiſche Betätigung ſich auf das Laboratorium und die chemiſche Fabrik beſchränkt. Das Gegenteil iſt der Fall. Unſer ganzes Leben ſpielt ſich zu einem ſehr großen Teil auf chemiſchem Gebiete ab. Unſer eigener Körper iſt eine chemiſche Fabrik von ſolcher Mannigfaltigkeit und Kunſtfertigkeit, daß kein anderes chemiſches Werk ſich damit vergleichen läßt. Aber auch unſere nächſte Umgebung, die vielen Gebrauchsgegenſtände, die wir täglich benutzen, unterliegen mehr oder weniger chemiſchen Einwirkungen und Umwandlungen. Eine kurze Betrachtung aller dieſer Dinge wird uns vielleicht manches vom Geſichtspunkte des Chemikers aus erklären, was ſonſt nur ſchwer erklärlich wäre.

Beginnen wir mit unſerer Kleidung. Unſere Leibwäſche, das leinene Hemd, Kragen, Manſchetten uſw. ſind im Laufe der Zeit etwas ſchadhaft geworden. Man entſinnt ſich der alten Regel, daß man kleine Löcher flicken ſolle, bevor ſie größer werden, und handelt danach. Aber dieſe ſonſt gut gelungene Flickarbeit bereitet uns in ihren weiteren Folgen doch keine reine Freude mehr. Unmittelbar neben dem neuen Flicken reißt die alte Leinwand wiederum (Fig. 141). Die Hausfrau tröſtet ſich ſchließlich mit dem

Erfahrungssatz, daß alte Leinwand eben schließlich mürbe wird. Wir aber können uns den Vorgang jetzt genauer erklären.

Wir wissen ja, daß der Leinwandfaden aus reiner Zellulose besteht, daß er ein Kohlenhydrat von der Form $(C_6H_{10}O_5)_x$ ist. Wie hat man diesem Zellulosefaden aber während der Jahre, da er uns Dienste tun mußte, zugesetzt. Wie oft kam das Hemd in die Wäsche und wurde dort in scharfer Seifenlauge gekocht! Wie hingen die nassen Wäschestücke dann in der Luft zum Bleichen, dem atmosphärischen Sauerstoff und der chemischen Wirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt! Wie fuhr dann das heiße Bügeleisen über die zarten Leinenfasern!

Fig. 141.
Es lohnt sich nicht mehr zu flicken, wenn die Wäsche mürbe geworden ist. Im Laufe der Zeit hat sich die Zellulose in Hydrozellulose verwandelt und der Stoff reißt neben jedem aufgesetzten Flicken von neuem.

Ist es ein Wunder, daß diese recht scharfen Reagenzien im Laufe der Zeit auch eine chemische Reaktion hervorriefen? Sie ist in der Tat eingetreten. In das Kohlenhydrat sind im Laufe der Zeit neue Hydrogruppen von der Form H_2O eingewandert und haben die molekulare Struktur verändert. Die äußere Form hat dabei gar keine Veränderung erlitten. Die Fäden des Leinen-

gewebes zeigen auch unter dem Mikroskop ihre alte Form. Aber die Festigkeit hat um so mehr Schaden gelitten.

Die reine Hydrozellulose von der Form $(C_6H_{12}O_6)_x$ ist nämlich ein leicht zerreiblicher Stoff. Wollten wir mit der Beschaffung eines neuen Hemdes so lange warten, bis das alte ganz und gar Hydrozellulose geworden ist, so würde uns dies pulverartig in Staub zerfallen. Aber in der Praxis kommt es nicht so weit. In dem Maße, in dem sich Teile der Leinenfäden in Hydrozellulose verwandeln, müssen die übrigbleibenden ja die ganze Sorge für die Festigkeit übernehmen. Das geht aber nur eine Weile, nämlich gerade so lange, bis für die übrigbleibenden Zellulosefasern die Festigkeitsgrenze erreicht ist. Dann beginnt der Stoff dort, wo er gerade ein bißchen unsanft angefaßt wurde, zu zerreißen, und daran kann nun auch kein Flicken mehr etwas bessern. Es bleibt nur übrig, das bis zu diesem Grade „hydrierte" Hemd zu pensionieren und in Putzlappen zu zerlegen.

Noch an einer anderen Stelle unserer Garderobe können wir ein auffallend rasches Mürbewerden von Zellulosefasern beobachten, nämlich an den Schnürsenkeln. Wir haben sie unter allerlei hochtrabenden Bezeichnungen, wie Eisengarn und dergleichen, gekauft. Aber in Wirklichkeit bestehen auch sie aus reiner Zellulose, aus Leinen- oder Baumwollfasern, und ein erschwerender Umstand kommt hinzu. Die Schnürsenkel befinden sich ja von Berufs wegen in nächster Nachbarschaft des Stiefelleders, welches dauernd mit Stiefelwichse behandelt wird. Die Stiefelwichse aber enthält fast stets etwas freie Schwefelsäure. Schwefelsäure und Zellulose reagieren sehr lebhaft aufeinander, wobei

die Zelluloſe eine Umwandlung teils in Hydrozelluloſe, teils in Dextroſe, Dextrin und dergleichen erfährt. Jedenfalls wird der an ſich feſte Zellſtoffaden in Verbindungen von ähnlicher molekularer Zuſammenſetzung, aber ſehr viel geringerer Feſtigkeit, verwandelt.

Der praktiſche Erfolg dieſes Vorganges dürfte wohl jedermann hinlänglich bekannt ſein (Fig. 142). Der Schnürſenkel, der äußerlich noch durchaus einen haltbaren und neuen Eindruck macht, reißt eines ſchönen Morgens beim Zuſchnüren des Stiefels wie Zunder auseinander. Manchmal wird die Schuld daran irrtümlicherweiſe auf einen ſcharfkantigen Schnürhaken geſchoben, der den Senkel heimtückiſcherweiſe zerſcheuert haben ſoll. Aber dieſer Fall tritt nur ſelten ein. In Wahrheit iſt die Schwefelſäure der Stiefelwichſe die Schuldige, und der Fortgang der Ereigniſſe erbringt den Beweis dafür. Es bleibt nämlich nicht bei dem einen Riß.

Fig. 142.

Die Stiefelwichſe iſt meiſtens etwas ſchwefelſäurehaltig. Dem Leder ſchadet das nichts, wohl aber den leinenen Schnürſenkeln, die dadurch ſchnell brüchig werden und trotz allem Zuſammenknoten nicht mehr zu brauchen ſind.

Natürlich wurde der Senkel geknotet und zunächst ruhig weiter benutzt. Aber schon nach wenigen Tagen reißt er an einer zweiten, dritten und vierten Stelle. Es geht hier mit dem Mürbewerden genau wie beim Hemd. Hat es erst einmal merklich damit angefangen, so hilft kein Flicken mehr.

Fig. 143.

Die Behandlung der Leinenwäsche mit Säuren, z. B. die Benutzung des Taschentuches seitens junger Radioenthusiasten zum Aufwischen von Schwefelsäure, beschleunigt den Zerfall der Zellulose.

Die Empfindlichkeit der Zellulose gegen Säuren aller Art und namentlich gegen Schwefelsäure macht sich natürlich besonders dort bemerkbar, wo man berufsmäßig mit solchen Säuren zu tun hat. Das gilt besonders für Elektriker, welche große Akkumulatorenbatterien zu überwachen haben. Während sonst der blaue Leinenanzug die Berufstracht dieser Leute zu sein pflegt, tragen Batteriewärter grundsätzlich reine Wollenanzüge, weil die Wollfaser, die ja eine ganz andere chemische Zusammensetzung hat, von der Säure viel weniger angegriffen wird.

Unser Radiozeitalter hat dem Schwefelsäureakkumulator aber auch weitgehendste Verbreitung in den privaten Haushaltungen gebracht (Fig. 143), und so manches leinene Taschentuch dürfte im letzten Jahre durch diesen Umstand vorzeitig zugrunde gegangen sein. Es ist ja so bequem, ein paar Tropfen der verdünnten Schwefelsäure, die etwa beim Nachfüllen der Batterie übergegossen wurden, mit dem Taschentuch aufzutupfen. Und das Taschentuch reagiert äußerlich auch scheinbar gar nicht darauf. Es schluckt die Säure wie Wasser. Aber während das Wasser bald verdunsten würde, bleibt die Säure im Tuch. Die Säureflecke bleiben feucht, bis nach Tagen oder Wochen das Tuch in die Wäsche kommt. Und dann offenbart sich die Wirkung. Die Stellen der Säureflecken sind vollkommen mürbe geworden.

Genau so weit, wie die Säure gereicht hat, verkrümelt sich der Stoff bei der mechanischen Prozedur des Waschens, und mit den entsprechenden Löchern verziert kommt das Tuch aus der Wäsche (Fig. 144). Es wäre zu retten gewesen, wenn man es sofort in eine kräftige Sodalösung gebracht hätte. Wenn das unmittelbar nach der beschriebenen Untat geschah, so fand eine Reaktion zwischen der Schwefelsäure H_2SO_4 und der Soda von der Form Na_2CO_3 statt, bevor die Säure die Zelluloſe merklich angreifen konnte. Aus der basischen Soda und der Säure bildete sich ein neutrales Salz, welches überdies durch die Lauge aus dem Gewebe herausgewaschen wurde. Aus diesem Vorgang folgt die allgemeine Regel, daß man Flecken irgendeiner scharfen Säure in einem Gewebe möglichst sofort nach ihrer Entstehung durch Sodalauge neutralisieren und unschädlich machen soll (Fig. 145).

Das Leben bringt es mit sich, daß unsere Kleidung und Wäsche manchen Flecken ausgesetzt sind. Abgesehen von den ebengenannten Säureflecken kommen besonders in Betracht Tintenflecke und Flecke von Obstsäften und Weinen. Bei den heute allgemein gebräuchlichen Eisengallustinten werden Tintenflecke sehr unangenehm, wenn man ihnen nicht sofort nach ihrer Entstehung energisch zu Leibe geht. Diese Tinten schreiben bekanntlich zunächst blau, vermittelst eines in ihnen gelösten Alizarinfarbstoffes, der zu den Teerfarben gehört. Außerdem aber enthalten sie Eisenverbindungen und Gallussäure, die beide zunächst farblos sind, aber im Laufe weniger Tage eine tiefschwarze und in Wasser unlösliche Verbindung eingehen. Läßt man dem Tintenfleck dazu in dem Gewebe Zeit, so ist er nachher auch mit den besten Wäschemitteln nicht mehr zu entfernen.

Auch für Obstflecke aller Art gilt die gleiche Regel, den Fleck so schnell wie möglich und so gründlich wie möglich mit Wasser auszuwaschen. Der alte Brauch, auf Obst- und Weinflecke sofort etwas Tischsalz NaCl zu streuen, ist ziemlich zwecklos, da hierdurch keine Veränderung oder Verbesserung bewirkt wird. Wirkungsvoller ist ein Bleichen des bestmöglich ausgewaschenen Fleckes durch schweflige Säure. Man zündet in einer feuerfesten Schale ein wenig Schwefel an. Er verbrennt unter Bildung der bekannten, zum Husten reizenden Dämpfe. Diese, von der Form SO_2, sind das Anhydrid der schwefligen Säure. Sobald sie mit Wasser in Berührung kommen, bilden sie mit diesem schweflige Säure H_2SO_3. Die schweflige Säure hat aber die besondere Eigenschaft, fast alle roten Pflanzenfarbstoffe zu bleichen.

Man kann dies sehr schön demonstrieren, wenn man eine Schale mit brennendem Schwefel und irgendeine rote Blume unter eine Glasglocke bringt. In wenigen Stunden ist dann aus einer roten Rose eine weiße geworden (Fig. 146). Auch bei roten Obstflecken tut die schweflige Säure ihre Wirkung. Hält man die nasse gewaschene Stelle über die Schwefeldämpfe, so verschwinden sehr bald die letzten roten Spuren. Dann aber muß sofort wieder energisch gewaschen und mit Sodalauge nachgespült werden, denn ebenso wie die Schwefelsäure tut auch die schweflige Säure der Zellulosefaser auf die Dauer nicht gut.

Fig. 144.
Wird ein sofortiges Auswaschen der Säureflecke unterlassen, kommen derartig mißhandelte Tücher erst nach längerer Zeit in die Wäsche, so findet man Löcher, wo die Säure das Leinen berührte.

In der Küche machen wir im Lauf der Zeit an unseren Kochtöpfen und insbesondere am Teekessel eine unliebsame Entdeckung. Der Boden und überhaupt die vom Wasser bedeckten Teile überziehen sich mit einem steinartigen Belag, dem sogenannten Kesselstein, der von Monat zu Monat stärker wird und den Kessel schließlich unbrauchbar macht. Hier geschah folgendes: Unser Trink-

waſſer enthält ſtets etwas kohlenſauren Kalk, deſſen Gegenwart die Härte des Waſſers bedingt. Im natürlichen kalten Waſſer iſt der kohlenſaure Kalk als Bikarbonat von der Form $Ca(HCO_3)_2$ enthalten. Beim Kochen findet eine Aufſpaltung des Bikarbonats in gewöhnliches Karbonat $CaCO_3$ und Kohlenſäure CO_2 ſowie Waſſer H_2O ſtatt.

Fig. 145.
Mit ſcharfen Säuren in Berührung gekommene Wäſcheſtücke müſſen ſofort kräftig geſpült und am beſten mit Sodalauge nachgeſpült werden.

Das Kalziumkarbonat $CaCO_3$ iſt nun aber im Waſſer unlöslich, es fällt aus und bildet den genannten Keſſelſtein. Eine mechaniſche Entfernung dieſes Belages iſt nur ſchwer möglich und führt gewöhnlich zu Beſchädigungen des Keſſels oder doch wenigſtens des Emailleüberzugs. Wohl aber können wir den Keſſelſtein auf chemiſchem Wege ſchnell und ſicher entfernen. Wir gießen eine Löſung von verdünnter Salzſäure in den Keſſel und merken alsbald, daß der Keſſelſtein an allen Stellen, wo ihn die Löſung berührt, kräftig aufzubrauſen beginnt. Es findet hier eine chemiſche Umſetzung zwiſchen je einem Molekül des Kalziumkarbonats

und je zwei Molekülen der Salzsäure nach der folgenden Gleichung statt: $CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + OH_2 + CO_2$. Es bildet sich also Wasser, welches in der Lösung bleibt, Kohlensäure CO_2, welche gasförmig wegsprudelt, und Chlorkalzium, welches in recht großen Mengen leicht in Lösung geht.

Nach geraumer Zeit hört die Gasentwicklung auf. Man wird jetzt die Flüssigkeit aus dem Kessel fortgießen und nach Bedarf eine neue Portion verdünnter Salzsäure hineingeben. Nach genügender Wiederholung dieses Verfahrens wird der Kessel in seinem Inneren vollkommen sauber und von jeder Spur von Kesselstein befreit sein. Das Verfahren ist überaus einfach, sofern man es mit emailliertem Geschirr zu tun hat, das selbst von der Säure nicht angegriffen wird. Dagegen ist bei metallischen Gefäßen und namentlich bei Aluminiumgeschirr Vorsicht am Platze, da auch Aluminium von der Salzsäure angegriffen wird. Es empfiehlt sich hier, jedesmal vor dem Einbringen neuer Säure die bereits vom Kesselstein befreiten und wieder blank gewordenen Stellen trocken zu reiben und mit einem Fett, etwa Schmalz oder Butter, zu beschmieren, welches das Metall gegen den Angriff der Säure schützt.

Die Salzsäure findet auch noch anderweitig im Haushalt und im täglichen Leben Verwendung. Wir benutzen sie bei allen Lötarbeiten, und wo würde in unserer Radiozeit nicht gelötet! Das Weichlöten, d. h. das Löten mit Zinn, ist in der Tat eine einfache und leicht zu erlernende Handfertigkeit, aber man darf dabei gewisse chemische Gesetze und Forderungen nicht aus der Hand lassen.

Das Lötmittel ist, wie gesagt, das Zinn, ein Metall,

Fig. 146.
Die bleichende Kraft der ſchwefligen Säure.
Unter eine Glasglocke bringt man ein wenig angezündeten Schwefel und eine rote Roſe. Der brennende Schwefel liefert ſchweflige Säure, welche die Blume in kurzer Zeit ſtark bleicht, da ihr roter Farbſtoff durch die Säure zerſtört wird.

welches bereits bei 225 Grad ſchmilzt. Es beſitzt die Eigenſchaft, in gut flüſſigem Zuſtande, alſo bei einer Temperatur von etwa 300 Grad, an anderen, vollkommen reinen Metallen zu haften, deren Oberfläche alſo zu benetzen, wie etwa Seifenwaſſer eine Glasplatte benetzt. Außerdem findet dabei eine oberflächliche Legierung des flüſſigen Zinns mit den zu verlötenden Metallen ſtatt. Lötet man beiſpiels-

weise zwei Kupferstücke mit Zinn zusammen, so löst sich auf diesen Stücken eine freilich äußerst feine Kupferschicht in dem Zinn, obwohl der Schmelzpunkt des Kupfers mit 900 Grad Celsius weit über der Temperatur des flüssigen Lötzinns liegt. Nach dem Erstarren sind die beiden Stücke dann sehr fest verbunden, da durch den Lötprozeß ein sehr enger molekularer Zusammenhang bewirkt wurde.

Um aber eine solche Lötung gut auszuführen, sind mancherlei chemische Mittel notwendig (Fig. 147). Wir brauchen erstens eine gewisse Menge Salzsäure von der Form HCl. Ferner eine Portion Lötwasser oder Zinkchlorid von der Form $ZnCl_2$. Dies Lötwasser stellen wir uns selbst her, indem wir etwa in einen halb mit Salzsäure gefüllten Tassenkopf einige Stücke Zinkblech werfen. Die Säure beginnt alsbald kräftig aufzubrausen und erwärmt sich nicht unbeträchtlich, während Wasserstoff entweicht. Es findet dabei eine Umsetzung statt, indem das Zink aus der Salzsäure den Wasserstoff verdrängt und sich mit zwei Chloratomen zu Zinkchlorid vereinigt. Da der entweichende Wasserstoff stets Säuredämpfe mitreißt, bereitet man sich das Lötwasser am besten im Freien. Außer den beiden genannten Flüssigkeiten benötigt man ferner noch den sogenannten Lötstein, d. h. ein etwa faustgroßes Stück Chlorammonium von der Form $ClNH_4$.

Der Lötkolben muß nicht nur genügend heiß, sondern auch gut verzinnt sein. Man erwärmt ihn am besten in der blauen heißen Stichflamme eines Bunsenbrenners oder einer Lötlampe und reibt ihn mit der verzinnten Spitze kräftig auf dem Lötstein unter Hinzugabe eines Tropfens Zinn.

Der Lötkolben hat die genügende Temperatur, wenn sich seine verzinnte Spitze an der Luft mit einem gelblich schimmernden Häutchen überzieht. Während man den Kolben nun auf der Flamme läßt, hat eine gründliche Reinigung der zu lötenden Stellen zu erfolgen. Sind diese ganz grob durch Rost oder starke Oxydschichten, Ölfarbenflecke oder dergleichen verunreinigt, so muß zunächst eine mechanische Reinigung mit Feile, Schaber, stählerner Kratzbürste oder ähnlichen Mitteln erfolgen, durch welche die groben Verunreinigungen entfernt werden und der blanke Metallgrund zutage tritt.

Aber man würde trotz dieser Reinigung nicht zum Ziel gelangen, wenn man jetzt etwa ohne die genannten Lötmittel löten wollte. Denn alle unedlen Metalle, wie Kupfer, Zink, Messing und dergleichen, überziehen sich an der Luft sofort wieder mit einer Oxydschicht, die zwar zunächst noch unsichtbar fein ist, aber den Lötprozeß doch schon hindern würde. Sobald aber der heiße Kolben an die Stücke kommt, würde dieser Oxydationsvorgang noch viel schneller vonstatten gehen und erst recht jede Lötung vereiteln. Es ist daher unbedingt notwendig, die mechanisch gereinigten Stücke sofort mit der Lötflüssigkeit einzupinseln. Handelt es sich um Zinkstücke, so nimmt man dazu reine Salzsäure, die nun sofort aufschäumt, Zinkchlorid bildet und jede Spur etwa noch vorhandenen oder neu gebildeten Zinkoxyds auflöst, so daß unter der Lötflüssigkeit eine chemisch reine Zinkfläche vorhanden ist. Für alle anderen Metalle nimmt man Lötwasser, welches hier in der gleichen Weise oxydlösend und reinigend wirkt.

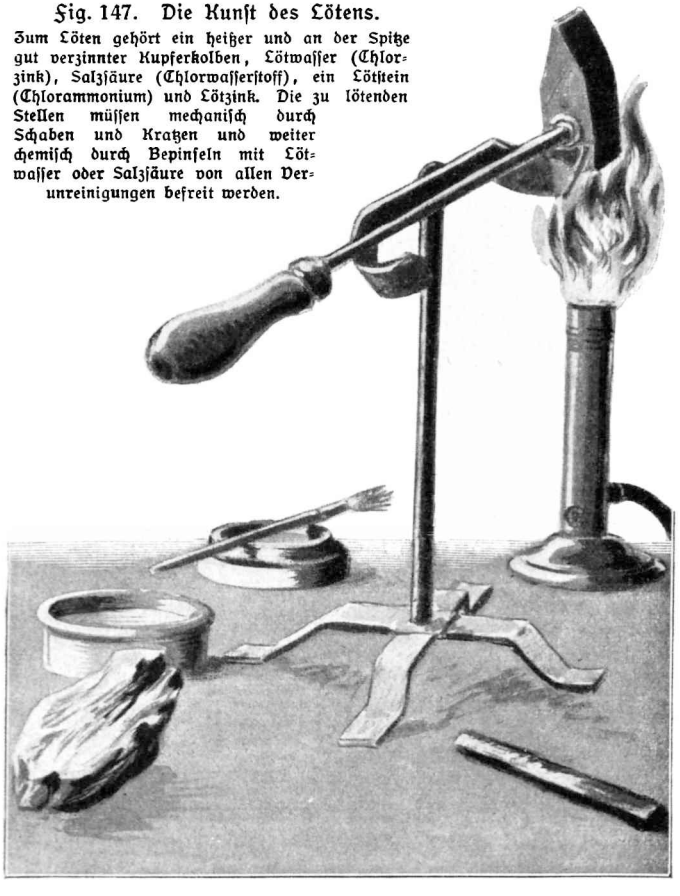


Fig. 147. Die Kunst des Lötens.
Zum Löten gehört ein heißer und an der Spitze gut verzinnter Kupferkolben, Lötwasser (Chlorzink), Salzsäure (Chlorwasserstoff), ein Lötstein (Chlorammonium) und Lötzink. Die zu lötenden Stellen müssen mechanisch durch Schaben und Kratzen und weiter chemisch durch Bepinseln mit Lötwasser oder Salzsäure von allen Verunreinigungen befreit werden.

Man nimmt nun den Lötkolben aus der Flamme, reibt ihn noch einmal auf dem Lötstein und fährt mit seiner verzinnten Spitze über die noch unter einer Schicht Lötflüssigkeit stehenden Metallstellen. War die Reinigung

genügend, so verzinnen sich diese im Augenblick, d. h. während die Lötflüssigkeit unter dem Einfluß der Kolbenhitze verdampft, überzieht sich das Metall mit einem weißglänzenden Zinnspiegel. Die beiden zu verbindenden Stücke werden im allgemeinen immer am besten erst einzeln verzinnt, die Verzinnung wird nochmals mit Lötwasser bestrichen, die zu verbindenden Stücke werden in der gewünschten Lage mit einer passenden Zange zusammengepreßt und mit dem heißen, gut verzinnten und gereinigten Kolben erhitzt, so daß das Zinn auf der ganzen Lötstelle zum Fließen kommt.

Nach der Wegnahme des Kolbens sind sie mit der Zange so lange zusammengepreßt zu halten, bis das Zinn vollkommen erstarrt ist. Darauf hat eine gründliche Waschung der Lötstelle zu folgen, durch die jede Spur von Säure entfernt wird. Am besten benutzt man Sodalauge, durch welche die Säure neutralisiert wird.

Für das Löten gilt der Grundsatz, daß mit einem kalten Kolben auch der Meister nicht löten kann, daß aber unreine, nicht genügend gesäuberte und mit den Lötmitteln behandelte Stücke auch mit dem heißesten Kolben niemand zu löten vermag. Das Zinn rollt in kleinen Kügelchen auf ihnen umher wie Quecksilber auf einer Glasplatte, aber es findet keinerlei Benetzung der Flächen mit dem Zinn, keine Legierung, überhaupt kein Lötprozeß statt.

Es ist bei solchen Lötarbeiten kaum zu vermeiden, daß die Finger des Lötenden mit Salzsäure oder Lötwasser befleckt werden. Man stellt sich deshalb vorteilhafterweise ein Gefäß mit Sodalauge zurecht, spült die Hände öfters

mit reinem Waſſer und ſteckt ſie dann in die Lauge. Grundſätzlich verkehrt iſt es, die Hände ſofort einzuſeifen. Man erlebt dabei die unangenehme Überraſchung, daß ſich an den mit der Säure befleckten Hautſtellen häßliche ſchwarze Flecke zeigen, die bisweilen erſt nach Tagen verſchwinden. Die Seife tritt mit dem Zinkchlorid in eine chemiſche Wechſelwirkung, bei der eine dunkle und im Waſſer unlösliche Zinkſeife zuſtande kommt, die eben jene Flecke bildet.

Der Salzſäure ſei ſchließlich noch als eines Hausmittels gedacht. Man gibt 5—10 Tropfen reiner Salzſäure auf ein Weinglas voll Waſſer als Verdauungsmittel. Während man aber für Lötzwecke die gewöhnliche Salzſäure vom Drogiſten nehmen kann, muß man für dieſen mediziniſchen Zweck unbedingt die chemiſch reine Salzſäure der Apotheke wählen, denn die gewöhnliche Salzſäure beſitzt faſt immer Verunreinigungen, wie Arſen und dergleichen, die zwar beim Löten nicht ſtören, aber für den innerlichen Gebrauch unter allen Umſtänden zu meiden ſind.

Es wurde bereits geſagt, daß der menſchliche Organismus ein äußerſt kunſtvoller chemiſcher Apparat iſt. Greifen wir nun den Verdauungstraktus heraus, ſo finden wir bereits Beweiſe für dieſe Behauptung. Die Vorgänge der Verdauung oder Nahrungsmittelverarbeitung ſpielen ſich in drei Stationen, nämlich im Munde, im Magen und im Darm ab. Die Vorgänge im Munde ſollen rein baſiſcher Natur, diejenigen im Magen ſaurer Natur und diejenigen im Darm wieder baſiſcher Natur ſein.

Im Munde findet der Prozeß des Kauens und Einſpeichelns der Speiſen ſtatt. Das Einſpeicheln erfolgt rein

automatisch, wenn die Kaumuskulatur kräftig arbeitet. Ähnlich wie bei der Giftschlange der bloße Druck des Bisses die Giftdrüsen zur Entleerung bringt, so werden durch den Muskeldruck beim Kauen die Speicheldrüsen zu kräftiger Absonderung gezwungen. Der Speichel ist basischer Natur, d. h. er bläut rotes Lackmuspapier. Außerdem entwickelt er eine Fermentwirkung auf alle Stärkemehl haltigen Speisen, wie Kartoffeln, Brot und dergleichen. Er verwandelt sie während des Kauens bereits zum großen Teile in zuckerartige Verbindungen, die der weiteren chemischen Verarbeitung im Magen viel leichter zugänglich sind als die reine Stärke. Aber auch die eiweißhaltige Nahrung wird bereits durch das Einspeicheln chemisch verändert. Es bilden sich Verbindungen der Eiweiße oder Albuminate mit dem Alkali des Speichels, die sogenannten Alkalialbuminate, welche nun in Salzsäure und salzsäureähnlichen Verbindungen komplizierterer Art, zu denen der Magensaft oder das Pepsin gehören, leicht löslich sind.

In der beschriebenen Weise vorbereitet, verlassen die Speisen die Mundhöhle und gelangen in den Magen, in welchem das Pepsin und außerdem ein ebenfalls saures Ferment der Pankreas- oder Bauchspeicheldrüse die wirkenden Chemikalien sind. Hier erfolgt insbesondere die weitere Aufspaltung der Eiweißstoffe, wobei die so ungemein komplizierten Eiweißmoleküle in einfachere Verbindungen, die Peptone, zerlegt werden. Der gesamte Magenprozeß ist sauer. Es können nun zwei Möglichkeiten vorkommen. Der Säuregehalt des Magens kann zu gering sein, die Pepsinabsonderung aus irgendwelchen Gründen nicht aus-

reichen. In diesem Falle wird durch ein wenig Salzsäure, wie bereits ausgeführt, der nötige Säuregehalt hergestellt. Es kann aber auch andererseits der Säuregehalt zu groß sein, mag nun der Magen allzu stark Säure absondern, oder mag sie durch allzu saure Speisen in ihn hineingelangt sein. In diesem Falle ist es erwünscht, den Säureüberschuß zu neutralisieren, und die gebräuchlichen Mittel dafür sind die gebrannte Magnesia von der Form MgO oder das doppeltkohlensaure Natron von der Form $NaHCO_3$. Beide Verbindungen neutralisieren die freie Salzsäure des Magens, bilden mit ihr ein neutrales Salz, während aus dem Natron Kohlensäure frei wird, die das bekannte Aufstoßen nach diesem Mittel zur Folge hat.

Vom Magen geht es in den Darm, und hier ist besonders die Rolle, welche die Galle spielt, interessant. Die Galle bewirkt besonders die Verdauung der Fette, d. h. ihren Abbau auf einfachere Atomgruppen. Um die Fette dem Verdauungsprozeß unterwerfen zu können, müssen sie in eine wasserlösliche Form gebracht werden, und dies ist eine der ersten Aufgaben der von der Galle abgesonderten und in den Darm geleiteten Gallensäfte. Hält man sich diese Eigentümlichkeit der Galle vor Augen, so leuchtet es

Fig. 148 und 149.

Die Zusammensetzung unserer wichtigsten Nahrungsmittel.

Jedes der großen Quadrate ist in hundert kleine Quadrate geteilt. Ein kleines Quadrat bedeutet also einen Gehalt von je einem Gewichtsprozent. Faßt man die großen Quadrate als Gewichtsmengen von je hundert Gramm auf, so bedeutet jedes kleine Quadrat ein Gramm. Auf die Gewichtsmengen von je hundert Gramm beziehen sich die unter den einzelnen Nahrungsmitteln stehenden Kalorien. Ein Gramm Eiweiß liefert 4,1 Kalorien. Desgleichen ein Gramm Stärke oder Zucker. Ein Gramm Fett gibt 9,3 Kalorien. Der Tagesbedarf eines kräftigen Mannes wird in unseren Breiten zu 3000 Kalorien angenommen, doch scheint diese Zahl nach den Kriegserfahrungen zu hoch zu sein.

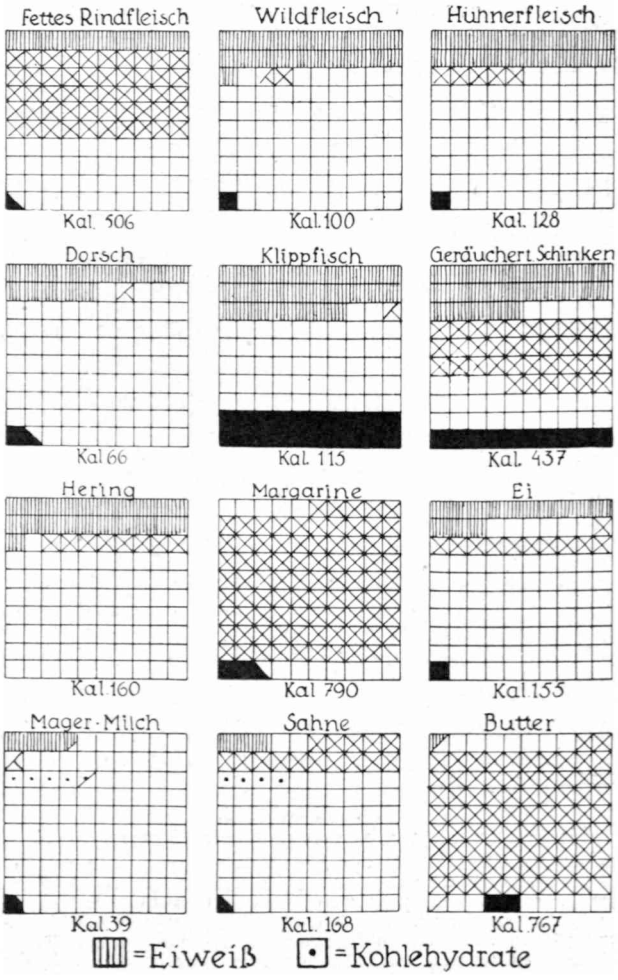

Fettes Rindfleisch
Kal. 506
Wildfleisch
Kal. 100
Hühnerfleisch
Kal. 128
Dorsch
Kal. 66
Klippfisch
Kal. 115
Geräucherter Schinken
Kal. 437
Hering
Kal. 160
Margarine
Kal. 790
Ei
Kal. 155
Mager-Milch
Kal. 39
Sahne
Kal. 168
Butter
Kal. 767
= Eiweiß
= Kohlehydrate

Fig. 148.

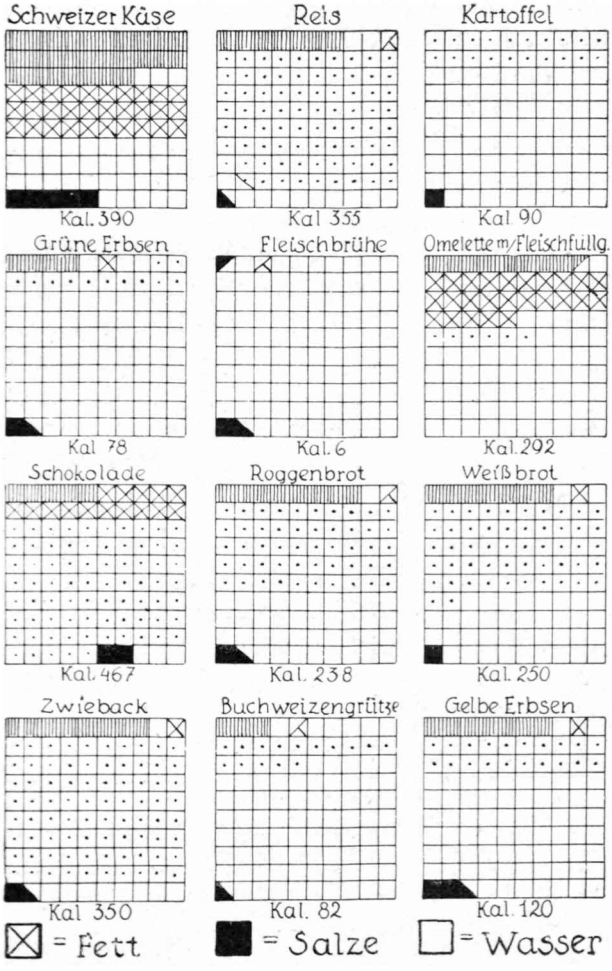

Schweizer Käse
Kal. 390
Reis
Kal 355
Kartoffel
Kal 90
Grüne Erbsen
Kal 78
Fleischbrühe
Kal. 6
Omelette m/Fleischfüllg.
Kal. 292
Schokolade
Kal. 467
Roggenbrot
Kal. 238
Weißbrot
Kal. 250
Zwieback
Kal 350
Buchweizengrütze
Kal. 82
Gelbe Erbsen
Kal. 120
= Fett
= Salze
= Wasser

Fig. 149.

wohl ein, warum man Ochsengalle als ein wertvolles Waschmittel verwendet. Sie besitzt eben die Fähigkeit, alle Fette in wasserlöslichen Zustand zu bringen, und entfernt daher alle Fettflecke aus den zu säubernden Stücken gründlich, schnell und unter vollkommener Schonung der Fasern sowohl als auch der Farbe des zu reinigenden Gewebes. Auch überall sonst in der Technik, wo es sich um die Wasserlöslichmachung von Fettstoffen handelt, beispielsweise bei der Herstellung von Farben und Salben, spielt die Ochsengalle eine beträchtliche Rolle. Im Darmkanal bringt die Galle die Fettstoffe in eine wäßrige Lösung, die nun von den Darmwänden resorbiert und dem Säftestrom des menschlichen Körpers zugeführt werden kann.

Wir sahen, daß der menschliche Organismus wie eine chemische Fabrik arbeitet. Für das gute Funktionieren dieser Fabrik wird naturgemäß die Art der ihm zugeführten Betriebsstoffe, d. h. der Nahrungsmittel, von großem Einfluß sein (Fig. 148 u. 149). Dabei müssen wir zunächst zwei wichtige Eigenschaften eines jeden Nahrungsmittels unterscheiden, nämlich seinen Nährwert und seine Verdaulichkeit. Diese beiden Eigenschaften bestehen vollkommen unabhängig voneinander. Wir haben Nahrungsmittel, wie beispielsweise hartgekochte Eier, die zwar einen recht beträchtlichen Nährwert besitzen, aber schwer verdaulich sind, während andere, wie beispielsweise frische Austern, sich zwar durch leichte Verdaulichkeit, aber geringen Nährwert auszeichnen.

Es ist die Aufgabe der Küche, die rohen Nahrungsmittel mit ihrem gegebenen Nährstoffgehalt durch die Zubereitung noch aufzuschließen und in besonders leicht verdauliche

Formen zu bringen. Dabei spielen aber nicht nur die durch das Kochen, Braten oder Backen wirklich hervorgerufenen chemischen Umwandlungen, sondern auch das Aussehen, der Geruch und Geschmack der fertig zubereiteten Speisen eine wichtige Rolle. Nicht umsonst sagt man, daß einem bei dem Geruch eines leckeren Bratens das Wasser im Munde zusammenläuft. Es ist eine durch Tierversuche experimentell festgestellte Tatsache, daß schon allein durch den Duft gut zubereiteter Speisen die sämtlichen für die Verdauungsarbeit wichtigen Drüsen zu lebhafter Absonderung angeregt werden.

Das beginnt mit den Speicheldrüsen, so daß buchstäblich das „Wasser im Mund zusammenläuft". Es findet aber ebenso stark auch bei den weiteren Drüsen statt, der Pepsingehalt und Säuregrad der Magenflüssigkeit steigt ebenfalls und bewirkt ein gesteigertes Hungergefühl oder zum mindesten Appetit. Ein leckeres Aussehen der Speisen unterstützt diese vorbereitende chemische Tätigkeit des menschlichen Organismus noch. Es liegt daher sicherlich richtige Beobachtung in der alten Tantalussage, wo die Qual des Hungers durch den steten Anblick lockender Speisen verschärft wird.

Dagegen wirken Speisen von unangenehmem Geruch und Aussehen geradezu verlangsamend auf die Drüsenabsonderung und werden infolgedessen schlechter verdaut. Auch hier bewahrheitet sich die alte Regel, daß Speisen, die mit Unlust genossen werden, nicht bekommen. Der Volksmund sagt, daß sie vor dem Magen stehen bleiben oder schwer im Magen liegen. Das letztere trifft zu. Da die

Magendrüsen nur schwächlich absondern, geht auch die Verdauung nur langsam vonstatten, und eine Speise, die den Magen normalerweise etwa in einer Stunde gut verdaut verlassen könnte, bleibt stundenlang darin liegen. Man sieht wohl, daß die Kochkunst sich in mannigfachster Weise auswirkt, und daß man nicht ohne praktischen Grund von alters her auch großen Wert auf den Geruch und das Aussehen der Speisen gelegt hat. Gewiß ist auch der Geschmack wichtig, aber er beginnt erst zu wirken, wenn die Speisen auf der Zunge liegen, während die anderen Eigenschaften sich weit früher bemerkbar machen. So ist die Kochkunst recht eigentlich die angewandte Chemie des täglichen Lebens.

Die Rohstoffe, die der Küche zugeführt werden, zeichnen sich durch sehr verschiedene Zusammensetzung aus. Fast allen gemeinsam ist aber der hohe Wassergehalt, der bei einigen überhaupt nur wenige Gewichtsprozente für die eigentlichen Nährstoffe übrig läßt. In der vorstehenden Darstellung (Fig. 148 u. 149) sind die prozentualen Zusammensetzungen der wichtigsten Nahrungsmittel gegeben. Die Zeichnung ist so gewählt, daß eine quadratische Fläche in hundert kleinere Quadrate geteilt wurde, von denen also jedes 1 Prozent bedeutet. Wir finden in dieser Tabelle verschiedene Fleisch- und Fischarten, Speisefette, Eier, Milch und Käse, verschiedene Gebäcke und Früchte. Alle diese Nahrungsmittel sind auf Eiweiß, Fett, Kohlenhydrate, Mineralstoffe und Wasser analysiert.

Die weißen Quadrate bedeuten Wasser, und so zeigt schon eine oberflächliche Betrachtung sofort den Unterschied zwischen gehaltvolleren und ärmeren Nahrungsmitteln.

Aber auch der Gehalt an den drei wichtigsten Komponenten Eiweiß, Fett und Kohlenhydrat spielt eine Rolle. So sehen wir zum Beispiel, daß Roggenbrot und somit auch Roggenmehl immerhin 8 Prozent Pflanzeneiweiß und außerdem 50 Prozent Kohlenhydrat in Form von Stärkemehl enthält, aber kaum ein halbes Prozent Fett. Dagegen ist die Butter durch einen Fettgehalt von 82 Prozent ausgezeichnet, dem nur ein halbes Prozent Eiweiß und ein halbes Prozent Kohlenhydrat gegenübersteht. Aber aus der Zusammensetzung geht hervor, daß eine mit Butter bestrichene Roggenbrotschnitte jedenfalls ein Nahrungsmittel ist, welches die lebenswichtigen Stoffe in der richtigen Verteilung enthält.

Auch der so oft genannte Schmarren der Alpenbewohner, jener einfache, in Fett gebackene Roggenmehlkuchen, bietet diese günstige Zusammensetzung, und es leuchtet wohl ein, daß man bei dieser Nahrung das eiweißreiche Fleisch fast vollkommen entbehren kann. Sehr hochwertige Nahrungsmittel sind nach der gegebenen Zusammenstellung auch Zwieback und Schokolade, der erstere mit nur 15 Prozent, die letztere mit nur 3 Prozent Wassergehalt.

Der hohe Gehalt an Nährstoffen kommt auch in den unter den einzelnen Stoffen angegebenen Kalorien zum Ausdruck. Eine Kalorie ist ja bekanntlich diejenige Wärmemenge, welche hinreicht, um 1 Kilogramm Wasser um 1 Grad Celsius zu erwärmen. Es ist nun bei jedem Nahrungsmittel angegeben, wieviel Kalorien 100 Gramm davon im menschlichen Körper freimachen. Da finden wir die höchste Zahl von 790 Kalorien bei der Margarine, während die Zahlen bei Fleisch und Fisch erheblich geringer sind. Die Kunst der

Küche beſteht darin, die Rohſtoffe für die Mahlzeiten ſo zuſammenzuſtellen, daß einerſeits genügend Eiweiß vorhanden iſt und andererſeits die für den Organismus notwendige tägliche Kalorienmenge erreicht wird. Vor dem Weltkriege nahm man für einen mittelſchwer arbeitenden

Fig. 150. Die Nahrungsmittelfabrik der Zukunft.
Aus den beiden Rohſtoffen Kohlenſtoff und Waſſer werden unter Hinzufügung einer gewiſſen Energiemenge nahrhafte Kohlenhydrate, wie Stärkemehl, Dextrin und Zucker, hergeſtellt.

Mann einen täglichen Bedarf von 3000 Kalorien an und kam dementſprechend auf recht bedeutende Mengen von Nahrungsmitteln. Die Erfahrungen der Hungerjahre haben aber gezeigt, daß dieſe Aufſtellung falſch war, und daß eine beträchtlich geringere Kalorienmenge vollkommen hinreicht, um den Organismus in gutem Zuſtande zu erhalten.

Auch die Nahrungsmittelchemie ist noch in regem Fortschreiten begriffen. Schon heute wissen wir, daß die hier gegebene Einteilung in Eiweiß, Fett und Kohlenhydrate nur roh ist, und daß einige ganz bestimmte Stoffe von eiweißartiger Natur, die sogenannten Vitamine oder Lebensstoffe, eine ganz besondere Rolle spielen. Fehlen diese, so hilft auch die gehaltreichste Nahrung nicht.

Ein Beispiel dafür bietet die früher allgemein übliche Schiffskost aus Pökelfleisch, Zwieback und Erbsen, die gewiß recht gehaltvoll ist und trotzdem sehr bald zum tödlichen Skorbut führt, weil die Vitamine frischer grüner Pflanzen dabei fehlen. Es ist erstaunlich, wie sehr winzige Mengen dieser Vitamine im Betrage von Bruchteilen eines Milligramms das Wohlbefinden, ja das Leben des Menschen und auch der Tiere zu beeinflussen vermögen. Die Chemie unserer Tage ist an der Arbeit, diese Vitamine, von denen man heute bereits drei verschiedene Gruppen kennt, genau zu erforschen und isoliert darzustellen. Auch auf dem Gebiet der Nahrungsmittelchemie dringen wir immer tiefer in die Zusammenhänge ein und finden vieles bestätigt, was früher rein erfahrungsmäßig geübt wurde. Vielleicht ist die Zeit nicht mehr allzu fern, in der wir den Ackerpflanzen einen Teil der Arbeit abnehmen und wenigstens die Kohlenhydrate in der Nahrungsmittelfabrik unmittelbar aus Kohlenstoff und Wasser, bzw. Wasser und Kohlensäure herstellen (Fig. 150). Theoretisch liegt das jedenfalls nicht mehr außer dem Bereich der Möglichkeit, und es ist nur eine Frage der Zeit, wann einmal die Praxis sich diese Möglichkeit zunutze machen wird.

Worterklärungen

Alchimie, die mittelalterliche Vorläuferin der Chemie. Das Wort stammt aus dem Arabischen. Seine Deutung „Scheidekunst" ist unsicher.

aliphatisch, vom griechischen aleiphos, das Fett, soviel wie fettig.

allotrop, vom griechischen allos, anders, und tropos, die Art und Weise. Allotrop, andersartig.

alluvial, vom lateinischen ad, an, hin, zu, und luvere, waschen. Etwas vom Wasser an einer Stelle Zusammengewaschenes. Der Gegensatz diluvium, vom lateinischen dis, auseinander, vom Wasser auseinandergewaschenes Mineral.

analog, vom griechischen logos, der Sinn, die Weise, und ana, hin, zu, auf. Analog, auf gleiche Weise, ähnlich, entsprechend.

Analyse, vom griechischen analyo, auflösen. Analytische Chemie zerlegende Chemie, welche Verbindungen in ihre Teile zerlegt.

Anode, von ana, hinauf, und hodos, der Weg, der Hinaufweg, der Aufstieg. In der Physik die Stromzuführung, durch welche der negative Strom eine Flüssigkeit oder ein Gas verläßt.

äquivalent, vom lateinischen aequus, gleich, und valor, der Wert, etwas Gleichwertiges.

arithmetisch, vom griechischen arithmos, die Zahl. Das arithmetische Mittel aus mehreren Zahlen wird gewonnen, indem man sie addiert und die erhaltene Summe durch die Anzahl der addierten Zahlen dividiert.

Astrologie, vom lateinischen aster, der Stern, und vom griechischen logos, der Sinn, die Deutung. Astrologie gleich Sterndeuterei.

Astronomie, von aster, der Stern, und vom griechischen nomos, das Gesetz. Astronomie, die Wissenschaft von den Gesetzmäßigkeiten der Sternenwelt.

Atom, vom griechischen atomon, unzerschneidbar. Atomistisch, aus kleinsten, nicht weiter zerschneidbaren Teilchen zusammengesetzt.

basisch, Eigenschaftswort zu Base. Die Base vom griechischen basis, die Grundlage, ist eine besondere Art einer chemischen Verbindung.

definieren, vom lateinischen finis, die Grenze. Einen Begriff eingrenzen, ihn genau erklären.

Derivat, vom lateinischen de, hinab, und rivare, strömen, fließen. In der Chemie Derivate soviel wie Abkömmlinge.

Destillation, vom lateinischen destillare, herabtropfen.

Dextrose, vom lateinischen dexter, rechts. Eine Zuckerart, welche die Ebene des polarisierten Lichts nach rechts dreht. Das Gegenstück ist die Lävulose, vom lateinischen laevus, links, ein die Lichtebene nach links drehender Zucker.

dissoziieren, vom lateinischen dis, auseinander, und socius, der Genosse. Sociare, vergesellschaften; dissociare, die Gesellschaft wieder auseinanderbringen.

dynamisch, vom griechischen dynamis, die Macht, die Wucht. Dynamische Erscheinungen sind Erscheinungen bewegter Massen oder Energien.

empirisch, vom griechischen empeiros, die Erfahrung. Danach empirisch erfahrungsmäßig.

Emulsion, ein Zustand, bei dem sich ein Stoff in äußerst feiner Verteilung in einem anderen Stoff befindet, ohne jedoch in ihm gelöst zu sein. Beispielsweise befindet sich das Milchfett, die Butter, in frischer Milch in Form mikroskopisch kleiner Kügelchen emulgiert.

endothermisch, vom griechischen endo, hinein, und thermos, die Wärme. Eine endothermische Verbindung eine Verbindung, in der Wärme in gebundenem Zustand vorhanden ist.

energetisch, in bezug auf die Energie. Energie vom griechischen energeia, die Arbeit.

exakt, vom lateinischen exigere, ausführen, vollenden. Exakt soviel wie vollendet, vollkommen.

exothermisch, vom griechischen exo, außerhalb, und thermos, die Wärme. Eine exothermische Verbindung eine Verbindung, bei deren Entstehung keine Wärme gebunden wurde, bei der die Wärme gewissermaßen draußen blieb.

experimentell, vom lateinischen experimentum, der Versuch. Was sich auf Versuche bezieht, mit Versuchen zusammenhängt.

Feld, in der Mathematik und Physik ein Raum, der von mathematischen oder physikalischen Größen erfüllt ist. In der Physik besonders Kraftfelder, die von magnetischen und elektrischen

Kräften durchsetzt sind. Das Schwerefeld der von der irdischen Schwerkraft durchsetzte Raum.

fraktioniert, vom lateinischen frangere, zerbrechen, fractio, ein abgebrochenes Teilchen. Fraktionierte Destillation eine Destillation, bei der die überdestillierenden Stoffe bei verschiedenen Temperaturen getrennt aufgefangen werden.

homolog, vom griechischen homos, gleich, und logos, der Sinn, die Art und Weise. Gleichsinnig, gleichartig.

horizontal, vom griechischen horizo, ich begrenze. Der Horizont die Grenzlinie zwischen Himmel und Erde. Der Horizont umgrenzt eine wagerechte Ebene, daher horizontal gleich wagerecht.

Hydro, vom griechischen hydor, das Wasser. Danach Hydroverbindungen Verbindungen, die durch Einwanderung von Wasser entstehen, beispielsweise Hydrozelluloſe.

hypothetisch, vom griechischen hypo, unter, und tithemi, ich stelle. Danach Hypothese eine Unterstellung, ein erster Erklärungsversuch für eine Reihe von Erscheinungen. Wird die Hypothese durch weitere Beobachtungen immer wieder bestätigt, so wächst sie sich zur Theorie aus.

identisch, vom lateinischen idem, derselbe. Identisch vollkommen gleichartig.

Individuum, vom lateinischen dividere, teilen, und in, gleich un. Etwas Unteilbares.

Jonen, vom griechischen ion, das Wandernde. Jonen sind Atome oder Atomgruppen, die in Flüssigkeiten oder Gasen unter dem Einfluß elektrischer Kräfte wandern. Damit diese Kräfte wirken können, müssen die Jonen selbst freie elektrische Ladungen besitzen. Je nach der Art dieser Ladungen unterscheidet man positive oder negative Jonen.

Isomerie, vom griechischen isos, gleich, und meros, der Teil, die Gleichteiligkeit. Zwei Stoffe sind isomer, wenn ihre Moleküle aus der gleichen Zahl und Art von Atomen bestehen, obwohl die Anordnung dieser Atome, die Struktur des Moleküls, sehr verschieden sein kann.

isotop, vom griechischen isos, gleich, und topos, der Ort. Isotop wörtlich gleichartig.

Kalorie, vom lateiniſchen calor, die Wärme, die Bezeichnung der Wärmeeinheit.

Katalyſator, vom griechiſchen kata, hinab, und lyo, ich löſe. Ein Katalyſator iſt ein Kuppelſtoff, der durch ſeine bloße Gegenwart andere Stoffe zu neuen Verbindungen zuſammenkuppelt.

Kathode, vom griechiſchen kata, hinab, und hodos, der Weg. Der Hinabweg, der Abſtieg. In der Elektrotechnik diejenige Stromzuführung, durch welche der negative Strom in eine Flüſſigkeit oder ein Gas eintritt.

kinetiſch, vom griechiſchen kineo, ich bewege. Kinetiſch, was auf Bewegung Bezug hat. Kinetiſche Wärmetheorie eine Theorie, welche die Wärme als eine Bewegung der kleinſten Teilchen erklärt.

Kombination, vom lateiniſchen combinare, zuſammenſetzen, eine Zuſammenſetzung.

kompenſieren, vom lateiniſchen con, zuſammen, und pensum, das Abgewogene. Kompenſieren, die Wirkung durch eine Gegenwirkung aufheben.

kompliziert, vom lateiniſchen complicare, zuſammenfalten, eine komplizierte Sache iſt eine verwickelte Sache.

komprimieren, vom lateiniſchen comprimere, zuſammendrücken.

Konſtitution, vom lateiniſchen constitutio, die Zuſammenſtellung, Zuſammenſetzung, Verfaſſung einer Sache.

labil, vom lateiniſchen labere, gleiten, fallen. Ein labiler Zuſtand ein Zuſtand, der durch die geringſte äußere Einwirkung verändert werden kann.

Lackmustinktur, ein wäßriger Auszug beſtimmter Flechtenarten, beſonders der Roccellaflechten, der durch Baſen blau, durch Säuren rot gefärbt wird.

Materie, vom lateiniſchen materia, der Stoff, die Maſſe.

Modifikation, vom lateiniſchen modificare, ausgeſtalten, ausprägen. Eine Modifikation ein beſonders ausgeprägter Zuſtand eines Stoffes.

negativ, vom lateiniſchen negare, verneinen, bedeutet etwas Fehlendes, den Gegenſatz zu poſitiv.

Oxydation, die Verbindung eines Körpers mit Sauerstoff(Oxygenium).

osmotisch, vom griechischen osmein, lösen, betrifft die mit Lösungsvorgängen verbundenen Erscheinungen.

paradox, vom griechischen para, daneben, und doxa, die Meinung. Etwas, was neben der Meinung liegt, was dem gesunden Menschenverstand schwer faßlich erscheint.

positiv, vom lateinischen ponere, setzen, stellen, bedeutet etwas wirksam Vorhandenes, den Gegensatz von negativ.

Proportion, vom lateinischen proportio, das Verhältnis. Proportional, verhältnismäßig.

Prozeß, vom lateinischen processus, der Vorgang, das Verfahren.

qualitativ, vom lateinischen qualis, wie beschaffen. Danach Qualität, die Beschaffenheit einer Sache.

quantitativ, vom lateinischen quantus, wie groß. Davon Quantität, die Menge einer Sache.

Radikal, das, vom lateinischen radix, die Wurzel, bedeutet in der Chemie eine feste, zusammenhängende Atomgruppe, die wie ein einzelnes Atom in den Verbindungen auftritt. — radikal (adj.), bis zur Wurzel gehend, d. h. sehr gründlich.

radioaktiv, vom lateinischen radius, der Strahl, und agere, tätig sein. Radioaktive Substanzen, strahlende Stoffe.

Reagentien, vom lateinischen agere, wirken, und re, zurück. Stoffe, die ihrerseits eine besondere Wirkung ausüben und dadurch eine Rückwirkung anderer Stoffe, eine Reaktion dieser Stoffe, bewirken.

Reaktion, vom lateinischen agere, wirken, und re, wieder, zurück. Eine Reaktion ist eine Wirkung, die durch eine bestimmte Ursache hervorgerufen wird. Die Ursache wird gelegentlich als Aktion bezeichnet, und man sagt dann: jeder Aktion entspricht eine bestimmte Reaktion.

Reduktion, vom lateinischen reducere, zurückführen. In der Chemie bedeutet die Reduktion das Gegenteil der Oxydation. Bei der letzteren wandert Sauerstoff in eine Verbindung hinein, bei der ersteren wieder hinaus.

rekonstruieren, vom lateinischen re, wieder, zurück, und construere, zusammenfügen. Rekonstruktion eine Wiederzusammenfügung, die Wiederherstellung eines gestörten Gefüges.

reſorbieren, vom lateiniſchen resorbere, aufſchluden.

Retorte, vom lateiniſchen retortum, zurückgebogen, bezeichnet urſprünglich chemiſche Gefäße mit zurückgebogenem Hals, dann jedes Gefäß, in dem ſich chemiſche Prozeſſe vollziehen.

Spektrum, vom lateiniſchen spicere, ſchauen. Spektrum etwas, was geſchaut werden kann. Im phyſikaliſchen Sinne das in die ſieben Regenbogenfarben zerlegte weiße Licht.

ſpontan, vom lateiniſchen sponte, freiwillig, von ſelbſt.

ſtabil, vom lateiniſchen stare, ſtehen, ein ſtabiler Zuſtand, ein Z uſtand, der auch durch beträchtliche äußere Kräfte nicht verändert wird.

ſtatiſch, vom griechiſchen histemie, ich ſtehe. Statiſche Erſcheinungen ſind Erſcheinungen eines Ruhe- oder Gleichgewichtszuſtandes.

Status nascendi, aus dem Lateiniſchen, der Zuſtand des Geborenwerdens, des Entſtehens.

Struktur, vom lateiniſchen struere, zuſammenfügen. Danach die Struktur, ein Gefüge. Strukturchemie, die Chemie, welche das Gefüge der Atome im Molekül unterſucht.

Subſiſtenzmittel, vom lateiniſchen sub, unter, und sistere, ſtehen, ſtellen, halten. Subſiſtenz, der Unterhalt.

Subſtitution, vom lateiniſchen substitutio, die Unterſtellung, Unterſchiebung, Erſetzung.

Syntheſe, vom griechiſchen syn, zuſammen, und tithemi, ich ſtelle, lege, ſetze. Syntheſiſche Chemie, zuſammenſetzende Chemie, welche Verbindungen aus ihren Teilen zuſammenſetzt. — Syntheſiker, diejenigen, die Syntheſen vornehmen.

Theorie, vom griechiſchen theorein, anſchauen, eine Anſchauungsſache, eine Lehrmeinung.

Traktus, vom lateiniſchen trahere, ziehen. Der Zug, der Strang, der Weg.

Variation, vom lateiniſchen variatio, die Veränderung.

vertikal, vom lateiniſchen vertex, der Scheitel. Vertikal iſt die Richtung von den Füßen zum Scheitel eines ſtehenden Menſchen. Vertikal gleich ſenkrecht.

Volumen, der räumliche Inhalt einer Sache.

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
Das Arbeitsgebiet der Chemie	9
Von Molekülen und Atomen	20
Das System der Elemente	46
Der Stickstoff und das Stickstoffproblem	81
Etwas Kohlenstoffchemie	115
Aluminothermie	169
Metallurgie	184
Elektrochemie	228
Zellulosechemie	261
Von Seifen und anderen Waschmitteln	288
Etwas Gärungschemie	306
Chemie des täglichen Lebens	338
Worterklärungen	364

Bongs Jugendbücherei

Von Miniſterien, Schulmännern Deutſchlands, Öſterreichs und der Schweiz, Erziehern, ſowie den Prüfungsausſchüſſen für Jugendſchriften und der Preſſe beſtens empfohlen

„. . . Prächtige Bücher! In allen Einzelheiten wohlgeraten. Ganz gleich, ob man den Stil, den Stoff, die Anordnung desſelben oder die Abbildungen kritiſch betrachtet . . .“ (Jugendſchriften-Ausſchuß, Lübeck.)

Das Buch der Phyſik. Errungenſchaften der Naturerkenntnis. Von **Hans Dominik.** Mit 150 Abbildungen, Tabellen, techniſchen Skizzen und Photographien.

Gemälde und ihre Meiſter, die unſere Jugend kennen ſollte. Mit erklärenden Texten berufener Führer und Freunde der Jugend ſowie einem Geleitwort von **Dr. Arnold Reimann,** Stadtſchulrat in Berlin. Mit 8 farbigen und 40 ſchwarzen Beilagen.

Unter den Wilden: Entdeckungen und Abenteuer, die unſere Jugend kennen ſollte. Von **Dr. Adolf Heilborn.** Mit 5 farbigen Beilagen und 36 Textbildern.

Wilde Tiere, die unſere Jugend kennen ſollte. Von **Dr. Adolf Heilborn.** Mit 4 farbigen Beilagen und 39 Textbildern.

Leben und Treiben zur Urzeit, das unſere Jugend kennen ſollte. Von **Dr. O. Hauſer.** Mit 4 farbigen Beilagen, 145 Textbildern und einer Karte des Vézèretales.

Deutſche Dichter, die unſere Jugend kennen ſollte. Von **Felix Lorenz.** Mit Proben aus den Werken der Dichter, 4 bunten Beilagen, 73 Textbildern und 66 Handſchriftproben.

Berühmte Muſiker und ihre Werke, die unſere Jugend kennen ſollte. Unter Beteiligung berufener Mitarbeiter herausgegeben von **Dr. Richard Sternfeld,** Geheimem Regierungsrat, Profeſſor an der Friedrich-Wilhelms-Univerſität zu Berlin. Mit 76 Textbildern, 13 Faksimiles und 44 Notenbeiſpielen.

Seelenleben unſerer Haustiere, das unſere Jugend kennen ſollte. Von **Dr. Th. Zell.** Mit 4 bunten Beilagen und 103 Textbildern.

Im Wunderland der Technik. Meiſterſtücke und neue Errungenſchaften, die unſere Jugend kennen ſollte. Von **Hans Dominik.** Mit 182 Abbildungen u. Originalzeichnungen, techn. Skizzen u. Photographien.

Das Sternenzelt und ſeine Wunder, die unſere Jugend kennen ſollte. Von **Dr. Joſeph Plaßmann,** Profeſſor an der Univerſität zu Münſter i. W. Mit 2 Tafeln und 108 Abbildungen.

Die ſchönſten Märchen der Weltliteratur. Geſammelt u. herausgegeben von **Prof. Friedrich v. d. Leyen.** Mit vielen farbigen Kunſtblättern und Textbildern. 2 Bde.

Berlin • Verlag von Rich. Bong • Leipzig

Bongs Goldene Klassiker-Bibliothek

Die Texte sind sorgfältig revidiert, eine von den ersten Literarhistorikern geschriebene Einleitung führt in den Dichter und sein Werk ein, und reichhaltige Erläuterungen erleichtern das Verständnis. So kommt dieser Goldenen Klassiker-Bibliothek nicht nur ein literarisches, sondern zugleich ein ethisches und nationales Verdienst zu. Sie ist für das Haus ebenso wertvoll wie für den Gebrauch der Schule. (Archidiakonus Artur Brausewetter in den „Danziger Nachrichten".)

Die deutsche Schule und das deutsche Haus muß für eine solche Gabe dankbar sein. (Wirkl. Geh. Oberregierungsrat Dr. Adolf Matthias in der „Monatsschrift für höhere Schulen". Berlin.)

Anzengrubers Werke, 7 Bde.
Anzengruber, Dramen, 3 Bde.
Arndt, 4 Bde.
Armin, 2 Bde.
Armin und Brentano, Des Knaben Wunderhorn, 2 Bde.
Bürger (Volksausgabe), 1 Bd.
Bürger (Kritische Ausgabe), 2 Bde.
Chamisso, 1 Bd.
Chamisso (Vollständige Ausgabe), 2 Bde.
Droste-Hülshoff, 2 Bde.
Eichendorff, 2 Bde.
Fouqué, 1 Bd.
Freiligrath, 2 Bde.
Geibel, 1 Bd.
Gellert, 1 Bd.
Goethe (Auswahl), 5 Bde.
Goethe (Erweit. Auswahl), 10 Bde.
Goethe (Vollständige Ausgabe), 26 Bde.
Grabbe, 2 Bde.
Grillparzer, 4 Bde.
Grillparzer (Vollst. Ausgabe), 7 Bde. Gesamtregister, 1 Bd.
Grimm, Sagen. 1 Bd.
Grimm, Märchen. 1 Bd.
Grimmelshausen, 3 Bde.
Grün, 3 Bde.
Gutzkow, 4 Bde.
Gutzkow (Erweiterte Ausgabe), 7 Bde.
Gutzkow, Ritter vom Geiste, 3 Bde.
Halm, 2 Bde.
Hauff, 3 Bde.
Hebbel, 4 Bde.
Hebbel (Werke und Tagebücher), 6 Bde.
Hebel, 2 Bde.
Heine (13 Teile), 4 Bde.
Heine (Erweiterte Ausgabe, 15 Teile), 5 Bde.
Herder, 3 Bde.
Herder (Erweiterte Ausgabe), 6 Bde.
Herwegh, 1 Bd.
Hoffmann (E. T. A.), 5 Bde.
Hoffmann (E. T. A.), 7 Bde.
Hoffmann v. Fallersleben, 2 Bde.
Hölderlin, 2 Bde.
Homer, 2 Bde.
Immermann, Münchhausen, 1 Bd.
Immermann, 3 Bde.
Jean Paul, 3 Bde.
Jean Paul (Erweiterte Ausg.), 5 Bde.
Keller (Gottfried), 5 Bde.
Keller (Gottfr.), (Erweiterte Ausg.), 6 Bde.
Kerner (Just), 2 Bde.
Kleist (Heinr. v.), 2 Bde.
Körner, 1 Bd.
Lenau, 2 Bde.
Lessing, 3 Bde.
Lessing, 20 Bde.
Ludwig, 2 Bde.
Mörike, 2 Bde.
Nestroy, 1 Bd.
Nibelungenlied (Übersetzung von Simrock mit Urtext), 1 Bd.
Novalis, 2 Bde.
Raimund, 1 Bd.
Reuter, 5 Bde.
Rückert, 3 Bde.
Scheffel, 3 Bde.
Schenkendorf, 1 Bd.
Schiller, 5 Bde.
Schiller (Vollständige Ausgabe), 10 Bde.
Shakespeare, 4 Bde.
Shakespeare (Vollständige kommentierte Ausg.), 5 Bde.
Stifter, 3 Bde.
Storm, 3 Bde.
Sturm und Drang, Dichtungen aus der Geniezeit, 2 Bde.
Tieck, 2 Bde.
Uhland (Schulausg.), 1 Bd.
Uhland (Erweiterte Ausgabe) 2 Bde.
Wagner (Richard), 6 Bde.
Wieland, 3 Bde.
Zschokke, 5 Bde.

Ausführliche Preisverzeichnisse kostenfrei durch alle Buchhandlungen.

Berlin • Deutsches Verlagshaus Bong & Co. • Leipzig

BONGS
JUGEND-
BÜCHEREI